



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ
INSTITUTE OF WATER MANAGEMENT OF MUNICIPALITIES

ZÍSKÁVÁNÍ CELULÓZY Z ODPADNÍ VODY
RECOVERY OF CELLULOSE FROM WASTEWATER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

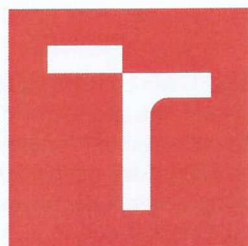
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Kamila Krystková

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

BRNO 2017




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	B3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
PRACOVISTĚ	Ústav vodního hospodářství obcí

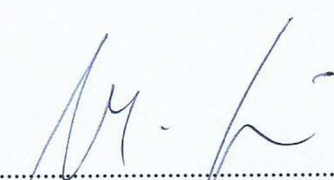
ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

STUDENT	Kamila Krystková
NÁZEV	Získávání celulózy z odpadní vody
VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
DATUM ZADÁNÍ	30. 11. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016


doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu




prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] Ruiken CJ1, Breuer G, Klaversma E, Santiago T, van Loosdrecht MC. Sieving wastewater-cellulose recovery, economic and energy evaluation. Water Res. 2013 Jan 1;47(1):43-8.
- [2] Shun'ichi Honda, Naoyuki Miyata, Keisuke Iwahori. Recovery of biomass cellulose from waste sewage sludge Journal of Material Cycles and Waste Management, April 2002, Volume 4, Issue 1, pp 46-50.
- [3] Handbook of Wastewater Treatment, Biological Methods, Technology and Environmental Impact, Nova Science Publishers Inc., 2013, ISBN13 (EAN): 9781622575916.
- [4] METCALF & EDDY. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse (4th Edition ed.), McGRAW-HILL, 2001, ISBN 0-07-041878-0.
- [5] Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing
- [6] Časopisy SOVAK, VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ.

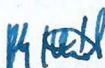
ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Bakalářská práce bude zaměřena na problematiku získávání celulózy z odpadní vody. V odpadní vodě se vyskytuje velké množství celulózy, která pochází především z toaletního papíru. Odvodněný materiál s vysokým obsahem celulózy lze využívat jako palivo v elektrárně spalující biomasu nebo vyrábět recyklovaný toaletní papír. V první části práce bude zpracován přehled problematiky a přehled používaných postupů a technologií. V druhé části práce bude zpracována technicko-ekonomická studie získávání celulózy na konkrétní ČOV. Podklady si studentka zajistí po dohodě s vedoucím práce v rámci bakalářského semináře. Při zpracování textů, výpočtů a výkresové části dokumentace bude v maximální míře využita výpočetní technika.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Úkolem této bakalářské práce je poukázat na množství celulózy v odpadních vodách a na její původ, který je hlavně v toaletním papíru z domácností. Hlavním cílem je pak přiblížit možnosti, jak celulózový kal získávají zpět z odpadní vody v ostatních zemích a jak se dá dále využívat. Praktická část bakalářské práce je zaměřena na vlastní návrh cezení celulózy v čistírně odpadních vod v Brně Modřicích.

Klíčová slova

celulóza, odpadní voda, technologie získávání, ČOV, kalové hospodářství

Abstrakt

The goal of this bachelor's thesis is to point to amount of cellulose in water-waste, which mainly came from people homes. Other goal is to show possibilities how to obtain this cellulose from sewage in other countries and how to use it afterward.

Practical part of this thesis focuses on project which filter cellulose in sewage treatment plant in Brno-Modřice.

Klíčová slova

cellulose, wastewater, recovery technology, WWTP, sludge management

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Kamila Krystková *Získávání celulózy z odpadní vody*. Brno, 2017. 71 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25.5.2017

.....
podpis autora

Kamila Krystková

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu prof. Ing. Petru Hlavínkovi, CSc., MBA za odbornou pomoc, věnovaný čas a za cenné rady při zpracovávání mé bakalářské práce.

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	ODPADNÍ VODY	10
2.1	druhy odpadních vod	10
2.1.1	Splaškové vody	10
2.1.2	průmyslové odpadní vody	12
2.1.3	Zemědělské odpadní vody	12
2.1.4	Dešťové vody	12
2.1.5	Zvláštní odpadní vody	14
2.2	látky v odpadních vodách	15
2.2.1	Fyzikální vlastnosti	16
2.2.2	Chemické vlastnosti	17
2.2.3	Radiologické vlastnosti	17
2.2.4	Mikrobiologické vlastnosti	18
2.2.5	Biologické vlastnosti	18
3	ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD	19
3.1	mechanický stupeň čištění	19
3.1.1	Česle a síta	19
3.1.2	Lapák písku	20
3.1.3	Lapák tuků a plovoucích nečistot	21
3.1.4	Flotace	22
3.1.5	Usazování	22
3.2	biologický stupeň čištění	22
3.2.1	Aerobní biologické pochody	22
3.2.2	Anaerobní procesy	27
3.3	Látky získávané z odpadních vod zpět	29
3.4	Celulóza	37
3.4.1	Výroba celulózy	38
3.4.2	Získávání celulózy z odpadních vod	39
4	ČOV BRNO MODŘICE	49
4.1	Mechanický stupeň	51
4.1.1	Hlavní nátokový objekt	51
4.1.2	Dešťová zdrž	52
4.1.3	Čerpací stanice	52
4.1.4	Lapák šterku	53
4.1.5	Česlovna	53
4.1.6	Lapák písku	53
4.1.7	Usazovací nádrže	54
4.2	Biologický stupeň	55
4.2.1	Mezičerpací stanice	55
4.2.2	Aktivační nádrže	55
4.2.3	Dosazovací nádrže	56
4.2.4	Objekt odtoku a ČS užitkové vody	56

4.3	Kalové a plynové hospodářství.....	57
4.3.1	Zahušťovací nádrž, Flotační jednotka.....	57
4.3.2	Čerpací stanice přepadu flotace.....	57
4.3.3	Vyhňivací nádrže.....	57
4.3.4	Strojní odvodnění a sušení kalu.....	57
4.3.5	Sklad sušeného kalu.....	59
4.3.6	Plynojemy	60
4.4	získávání celulózy v čov modřice	60
4.4.1	Síto Romesh	60
4.4.2	Návrh umístění	62
5	ZÁVĚR	63
1	POUŽITÁ LITERATURA.....	64
	SEZNAM TABULEK	67
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	68
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	69
	SUMMARY	71

1 ÚVOD

Celulóza se na čistírnu odpadních vod dostává hlavně z odpadu z domácností ve formě toaletního papíru. Ten má tendence se ve vodě rozmočit a zůstanou z něj pouze vlákna celulózy asi 0,25 mm tenká. Procházejí čistící linkou a odstraňují se z vody až s přebytečným kalem, což způsobuje větší aerační zatížení aktivačních nádrží, větší množství konečného vysušeného kalu a celkově větší spotřebu energie. Aby se tomuto předcházelo, vyvíjejí se nové a nové technologie, které se snaží celulózová vlákna odseparovat už v mechanickém stupni čistírny a znovu je využívat tak, aby konečného produktu bylo co nejméně.

Znovuvyužitím se zabývá oběhová ekonomika (z angl. The Circular Economy), což je naplnění definice trvale udržitelného zdroje. Model chování lidstva, jak při osobní a hlavně výrobní spotřebě, zanechat nulovou nebo alespoň co nejmenší ekologickou stopu. V praxi je tedy podstata oběhové ekonomiky šetrná a permanentně cyklická forma užívání přírodních zdrojů a surovin. [1]

Z hlediska vývoje je model oběhové ekonomiky kvalitativnější formou modelu užívání zejména přírodních zdrojů. Primárně vychází z liniové ekonomiky, tedy modelu, který je postaven na principu linie: vzít - vyrobit (a použít) - odložit. Což v principu znamená, že vytěžím surovinu, vyrobím, použiji výrobek a pak jej vyhodím. Samozřejmě, že vše co se vyrobí, není na jedno použití, ale přesto 80% výrobků končí v odpadu do 6 měsíců od výroby a 90% surovin použitých při výrobě se stanou odpadem dřív, než výrobek opustí továrnu. [1]

Oběhová ekonomika vyžaduje pečlivé využívání surovin a zkoumání možností recyklace a opětovného použití. Její uzavřený cyklus je klíčem k udržitelným provozům v oblasti životního prostředí a je jádrem našeho inovačního přístupu jak ve výrobě, tak i v získávání již použitých surovin zpět. [18]

2 ODPADNÍ VODY

Za vodu odpadní je považována veškerá voda, která projde jakýmkoli výrobním procesem a tímto použitím se změnila její jakost nebo teplota, případně i jiné vody, odtékající ze sídlišť, obcí, dolů, závodů a dalších objektů, které jsou vypouštěny do vod povrchových (recipientů) a mohou ohrozit jakost těchto vod. [2]

Odpadní vody nezamořují jen povrchové toky, do kterých se převážně vypouští, ale v současné době znečišťují také moře. Proto je nutné, v zájmu zachování životních podmínek a života vůbec, aby se tato problematika řešila v celosvětovém měřítku. [2]

2.1 DRUHY ODPADNÍCH VOD

2.1.1 Splaškové vody

Znečištění splašků je závislé na způsobu života obyvatel, životní úrovni a technické vybavenosti domácnosti i obce. V odpadních splaškových vodách jsou látky rozpuštěné i nerozpuštěné. Nerozpuštěné látky jsou jednak sunuté po dně stok, unášené a plovoucí. [2]

Kvalita odpadních látek je poměrně stálá. Nerozpuštěných látek je asi 90 g/osoba/den a tuků 20mg.l⁻¹. Z organických látek se nejčastěji věnuje pozornost skupinám organických látek, které významným způsobem ovlivňují jakost a chování vody. Jsou to zejména ropa a ropné látky, fenoly a tensidy. [2]

Tabulka 2.1- Orientační složení splaškových odpadních vod [10]

Ukazatel	rozmezí hodnot	jednotky
Hodnota pH	6,5 - 8,5	[-]
Nerozpuštěné látky	200 - 700	mg/l
- z toho usaditelné	73	%
- z toho neusaditelné	27	%
Rozpuštěné látky	600 - 800	mg/l
BSK ₅ s potlačením nitrifikace	100 - 400	mg/l
CHSK - Cr	250 - 800	mg/l
TOC (DOC)	asi 250	mg/l
N _{celk}	30 - 70	mg/l
N-NH ₄	20 - 45	mg/l
P _{celk}	5 - 15	mg/l
Poměr BSK ₅ :CHSK _{Cr}	0,5	[-]

Tabulka 2.2 - Ukazatele platné pro splaškové a městské odpadní vody [10]

Velikost zdroje znečištění (EO)	CHSK _{Cr}		BSK		NL		N-NH ₄ ⁺		Nanorg		Pcelk	
	[mg/l]		[mg/l]		[mg/l]		[mg/l]		[mg/l]		[mg/l]	
	p	m	p	m	p	m	p	m	p	m	p	m
do 500												
501 - 2 000	125	180	30	60	35	70	-	-	-	-	-	-
2 001 - 10 000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	-	-
10 001 - 100 0000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	2	2	6
Nad 100 000	75	125	15	30	20	40	-	-	30	20	1	3

Při čištění městských odpadních vod je třeba z nich odstranit především hrubé, makroskopické látky, jejich přítomnost by mohla vést v dalších stupních k mechanickým závadám a zanášení objektů a zařízení ČOV. Jedná se o vznášené částice, částice sunuté po dně stoky a látky plovoucí. [2]

Tabulka 3- Orientační složení splaškových odpadních vod [10]

Splaškové vody mají obvykle šedou nebo šedohnědou barvu a jsou silně zakalené. Čerstvé splašky nemají příliš intenzivní zápach, avšak za několik hodin, když se vyčerpá rozpouštěný kyslík a začnou probíhat anaerobní biologické pochody, začíná odpadní voda intenzivně zapáchat, protože reakcí vznikají sulfidické síry se sloučeninami železa. [10]

Teplota závisí na ročním období, v zimě 8-12°C, v létě asi 20°C. K výkyvům může dojít vypouštěním některých průmyslových odpadních vod. Se vzrůstající teplotou klesá množství rozpuštěného kyslíku.

Anorganické a organické složení splaškových vod je dáno složením pitné vody a užitkové vody. Přírůstek anorganických látek pochází z moče, fekálií, kuchyňských odpadků, pracích a čisticích prostředků a ze znečištění silnic a veřejných prostranství. Jedná se hlavně o sloučeniny fosforu (udávané jako celkový fosfor, z pracích a čisticích prostředků jako fosforečnany, z moči a fekálií), sloučeniny dusíku (amoniakální dusík, močovina, volné a vázané aminokyseliny) a sloučeniny síry (v anaerobních podmínkách redukce síranů na sulfidickou síru). [10]

Organické látky, jako CHSK, BSK, TOC(DOC), rozdělujeme na biologicky rozložitelné a biologicky těžko rozložitelné. Obsah těchto látek určujeme dohromady ukazatelem chemické spotřeby kyslíku (CHSK_{Cr}, CHSK_{Mn}), a to podle činidla použitého k oxidaci organických látek. [10]

Ostatní organické látky, jako sacharidy a bezdusíkaté látky, jsou kvantitativně nejvíce zastoupené organické sloučeniny v kapalně fázi splaškových vod. Až 50% organického dusíku mohou tvořit sacharidy. V tuhé fázi splaškových vod byly identifikovány polysacharidy (celulóza, hemicelulóza, pektiny, škrob a produkty jejich rozkladu). [10]

2.1.2 průmyslové odpadní vody

Z průmyslových závodů a výroben jsou vypouštěny průmyslové odpadní vody. Ty obsahují odpadní vody od zaměstnanců závodu včetně odpadních vod ze závodních kuchyní a jídelen. Jsou svým složením podobné vodám splaškovým, odpadní vody srážkové odváděné z areálu závodu, odpadní vody chladicí, tvořící často významný podíl z celkového objemu odpadní vody vypouštěné z průmyslového závodu. Jsou jen málo znečištěné, a proto je tendence pro jejich opětovné využití v závodě (recirkulace). Další součástí jsou odpadní vody technologické, odpadající přímo z technologických procesů. V mnoha případech tvoří látky v nich obsažené svým množstvím i charakterem nejvýznamnější složku z celkového znečištění. [10]

Vzhledem k různým technologickým procesům průmyslových výroben nelze určit u průmyslových odpadních vod obecnou charakteristiku jejich kvality. U průmyslových odpadních vod je třeba vždy posoudit, zda neobsahují v nepřipustných koncentracích látky toxické, hořlavé, výbušné a jinak škodlivé pro provoz kanalizace a čistírny. Povolené množství a kvalitu průmyslových odpadních vod vypouštěných do veřejných kanalizací stanovuje její správce v kanalizačním řádu. [10]

Vhodné pro společné čištění se splaškovými vodami, ale i samostatně, jsou odpadní vody obsahující biologicky rozložitelné organické látky, vesměs přírodního původu. Jejich koncentrace bývá někdy mnohonásobně vyšší než u splaškových vod v hodnotách BSK₅ 1000 až 4000 mg/l. K tomuto typu patří odpadní vody z potravinářského průmyslu, jako jsou mlékárny, pivovary, sladovny, konzervárny, škrobárny, dále pak odpadní vody z průmyslu kožedělného a textilního. [10]

2.1.3 Zemědělské odpadní vody

Znečištění od zemědělství způsobuje nesprávné nebo neúměrné používání závadných látek. Mezi tyto látky patří hlavně pesticidy, které se používají k hubení rostlinných a živočišných škůdců, splachy, silážní šťávy a kejdy. [4]

Zemědělské odpadní vody lze čistit buďto samostatně, nebo společně se splaškovými vodami. Do městské stokové sítě však není dovoleno vypouštět odpadní vody o libovolném složení. Pro každou kanalizaci musí její majitel nebo provozovatel zpracovat kanalizační řád, ve kterém stanoví přípustné míry znečištění. [8]

2.1.4 Dešťové vody

Dešťovými vodami se označují srážkové vody, odváděné ze střech, komunikací, parkovišť atd., většinou do společné nebo oddílné dešťové kanalizace. Znečištění dešťových vod tvoří široké spektrum různých látek. Mikrobiální složku znečištění tvoří zejména fekální koliformní bakterie, enterokoky a další. [6]

Tabulka 2.3 – Zdroje znečištění dešťových vod [6]

Zdroj znečištění	Znečišťující látky
Výfukové plyny	Pb, Ni, sloučeniny N, fenoly, uhlovodíky, PCDD, PCDF, rez, částice
Otěr brzdových obložení	Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, částice
Otěr pneumatik	Cd, Zn, rez, organické sloučeniny, pryž, S, Pb, Cr, Cu, Ni
Otěr povrchu komunikací	Si, Ca, Mg, asfalt, dehet, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni, částice
Otěr značení komunikací	TiO ₂ , rozpouštědla
Úkapy z motorů	Pb, Ni, Zn, organické látky, tuky, oleje, uhlovodíky, Cu, V, Cr
Koroze, obrus	Al, Cu, Fe, Co, Mn, Cd, Zn
Stavební hmoty	minerální látky, pojiva (asfalt, vápno, cement), alternat. Stavební hmoty

Anorganické nerozpuštěné látky ($< 1\text{nm}$) jsou tvořeny částicemi prachu, písku, popílku, posypového materiálu atd. Do dešťových vod se dostávají buď přímo z atmosféry nebo splachem z povrchu vozovek, nezpevněných částí komunikací, uvolňováním ze vzorku znečištěných pneumatik, z podvozků, atd. [10]

Mezi rozpuštěné látky ($< 1\text{nm}$) patří hlavně kovy, chloridy a sírany a sloučeniny dusíku a fosforu. Obsah a zastoupení jednotlivých kovů v dešťové vodě závisí na materiálu střeš. Těžké kovy charakterizuje měrná hmotnost vyšší než 5000 kg/m^3 a schopnost tvořit velmi málo rozpustné sraženiny. Obsah chloridů v dešťových vodách z komunikací značně kolísá. Jejich zdrojem je zejména posypová sůl, používaná v zimním období. Hlavními dusíkatými látkami v dešťových vodách je amoniak, dusitany a dusičnany. Jejich obsah v dešťových vodách je velmi nízký. Nejvýrazněji se projevuje u N-NH_4^+ . V závislosti na podmínkách může docházet k transformaci jednotlivých forem dusíku. [10]

Organickými látkami v dešťových vodách jsou především dioxiny, ropné látky, chlorované uhlovodíky a polyaromatické uhlovodíky. Dioxiny, podobně jako další vysoce toxické látky, vznikají při spalování pohonných hmot. Součástí znečištění jsou také různá aditiva, přidávaná do automobilových benzinů. Jedná se především o methyl terc-butyl ether (MTBE). Jeho obsah v benzinech se pohybuje od 2 do 15%. Jedná se o látku často kontaminující podzemní vody v blízkosti komunikací. [10]

Benziny, petroleje, plynové oleje, mazací oleje a další výrobky z ropy patří ke skupině látek stanovovaných po extrakci do rozpouštědla jako nepolární extrahovatelné látky. Jejich obsah v dešťových vodách se pohybuje řádově v desetinách mg/l. Chlorované uhlovodíky patří k látkám s podobnými vlastnostmi jako ropné látky. Ve vodě mohou být ve formě volné, emulgované i rozpuštěné. [10]

Polyaromatické uhlovodíky, zkráceně PAU, vznikají při spalování pohonných hmot v motorech. V dešťových vodách z komunikací jsou součástí nerozpuštěných látek, na kterých jsou sorbovány. Představují závadné látky, některé mají i karcinogenní vlastnosti. V dešťových vodách byla zjištěna přítomnost fenantrenu, fluoranthenu, pyrenu, atd. [10]

2.1.5 Zvláštní odpadní vody

Balastní vody

Balastní vody bývají málo znečištěné, a proto jejich přítomnost v městských odpadních vodách je příčinou jejich zředování. Někdy, zvláště u nekvalitně provedených kanalizací, může být zředění tak velké, že pro nízkou koncentraci znečištění je jejich biologické čištění na ČOV problematické. [7]

Důlní vody

Dolování uhlí nebo rud ovlivňuje přirozenou cirkulaci vody v přírodě. Do šachet prosakuje podzemní voda, která se odčerpává a vypouští. Složení těchto vod ovlivňují podmínky při těžbě a hydrogeologické poměry dané lokality. Často jediným znečištěním, které je nutné odstranit, jsou ropné látky. Z hlediska čistoty vody jsou dva druhy důlních vod, a to vysoce zasolené důlní vody z hlubinné těžby a kyselé důlní vody z povrchové těžby hnědého uhlí. [9]

Odpadní vody z povrchových úprav kovů

Konečná úprava výrobků a součástek ve strojírenství a v elektrotechnickém průmyslu se provádí nejčastěji galvanickým pokovováním, při kterém se používají koncentrované roztoky toxických chemikálií (těžké kovy, kyanidy, sloučeniny chromu atd.). Koncentrace těchto látek v pokovovacích lázních dosahuje stovky mg/l, v oplachových lázních desítky mg/l. Únik lázní a nedostatečné čištění odpadních vod působí nebezpečné až havarijní zhoršení kvality vody. Již malé koncentrace iontů působí na aerobní a anaerobní stupeň čištění. K čištění těchto vod se nejčastěji používá neutralizace, srážení těžkých kovů, oxidační a redukční postupy a výměna iontů. [9]

Odpadní vody z tepelného zpracování uhlí

Při zpracování hnědého (zplynování) a černého (koks) uhlí vzniká fenolčpavkový kondenzát. Množství závisí na vstupní vlhkosti uhlí (pro 10% vlhkost se uvádí 175 m³ odpadní vody na 1000 tun koksu). Koksárenské a plynárenské odpadní vody obsahují nerozpuštěné látky (částice uhlí, hlušiny, škváry), dehet a fenoly. Z organických látek jsou přítomny olefinické uhlovodíky, alifatické a cyklické organické látky s kyslíkem, dusíkem a sírou v molekule. Z anorganických látek je to čpavek, sirné sloučeniny v menších koncentracích a těžké kovy. Prvním stupněm čištění je oddehtování, druhým stupněm odčpavkování a odfenolování. [9]

Odpadní vody ze zpracování ropy

Technologické odpadní vody obsahují jako typické znečištění ropné látky převážně jako volné, ale také v emulgované a rozpuštěné formě. Zaolejované vody pocházejí

z chladicích okruhů, oplachů a úkapů z výrobních ploch i jako podzemní vody z hydraulické ochrany. Stabilní ropné emulze obsahují chemicky znečištěné vody z odvodňování a odsolování ropy a z některých syntetických pochodů. Odpadní vody z hydrogenace obsahují vysoké koncentrace (až 50 mg/l) sulfidů a dalších sloučenin síry. Čištění těchto vod je několikastupňové. První je mechanický stupeň, druhý je číření a posledním stupněm je biologické čištění. [9]

Odpadní vody z výroby buničiny a papíru

Výroba buničiny se v zásadě provádí dvojí cestou: v kyselém a v alkalickém prostředí. V kyselém prostředí se používají roztoky hydrogensířičitanů Ca, Mg, Na, NH_4^+ a nazývá se sulfitová celulóza. V alkalickém prostředí se jedná o roztoky NaOH a Na_2S a nazývá se sulfátová celulóza. Odpadní vody z výroby papíru obsahují především mechanické nečistoty (plnidla a vlákna). Jejich oddělení sedimentací, filtrací nebo flotací umožňuje recirkulovat zachycené látky i vodu zpět pro výrobu méně kvalitního papíru a lepenky. [9]

Odpadní vody z textilního průmyslu

Odpadní vody z textilního průmyslu vznikají při mokrých postupech zpracování vláken a tkanin. Mokrý postupy jsou praní, vyvářka, bělení, barvení a apretace. Vody obsahují mýdla, tenzidy, zbytky alkálií (NaOH, Na_2CO_3) a pracích prostředků (polyfosforečnany). Bělení se provádí chlórem, chlornany nebo peroxidem vodíku. Pro barvení se používají všechny typy barviv. Z těchto barviv se do odpadních vod dostávají soli, alkálie, oxidační látky, sulfidy, anorganická i organická barviva, obsahující těžké kovy. [9]

Konečná úprava se provádí textilními výrobky, které obsahují škrob, polyvinylalkohol, karboxymethylcelulosu a další organické i anorganické chemikálie. Odpadní vody se mísí a jsou alkalické, barevné a silně znečištěné. Čištění se skládá z mechanického a biologického čištění tak, aby se voda mohla vracet zpět do výrobního procesu. [9]

Odpadní vody z potravinářského průmyslu

Potravinářský průmysl vypouští asi 15% veškeré produkce průmyslových odpadních vod, v nichž je obsaženo 50% rozložitelných organických látek produkovaných průmyslem. Tyto vody se dále dělí na odvětví masný průmysl, cukrovary, pivovary, mlékárny, lihovary a droždárny, škrobárny a drůbežárny. Charakter potravinářských odpadních vod závisí na technologii výroby a zpracovávané surovině. Tyto odpadní vody jsou koncentrovanější než vody splaškové a typické znečištění tvoří organické látky a nerozpuštěné látky organické a anorganické.

2.2 LÁTKY V ODPADNÍCH VODÁCH

Chemicky čistá je pouze voda destilovaná. Vodu vyskytující se v přírodě můžeme považovat za roztok různých plynů, anorganických i organických látek. Z chemického

hlediska rozdělujeme látky obsažené ve vodě na organické a anorganické. Z fyzikálního hlediska mohou být tyto látky přítomné jako iontově rozpuštěné (elektrolyty) nebo neelektrolyty. U nerozpuštěných látek nás s ohledem na jejich transport a samočistící procesy zajímá zejména jejich schopnost sedimentovat. Dělíme je dle ovlivnění fyzikálně-chemických vlastností vody do skupin a tříd.[9]

Látky rozpuštěné:

- I. třída: látky přítomné v množstvích větších než 5 mg/l - sodík, vápník, hořčík, křemík, hydrogenuhličitany, chloridy, sírany a organické látky.
- II. třída: látky přítomné v množstvích větších než 0,1 mg/ - železo, bór, fluoridy, amoniakální dusík a dusičnany.
- III. třída jsou látky přítomné v množstvích větších než 0,01 mg/l – hliník, mangan, měď, zinek, olovo, arsen, baryum, bromidy a fosforečnany.
- IV. třída jsou látky přítomné ve stopových množstvích, což je méně než 0,01 mg/l – kadmium, chrom, kobalt, nikl, rtuť a kyanidy.
- V. třída jsou přechodné složky vznikající ve vodním prostředí při narušení rovnováhy – radionuklidy a biologické cykly (oběh kyslíku, uhlíku a síry).

Látky nerozpuštěné:

- I. třída: látky neusaditelné, usaditelné a splývavé
- II. třída: mikroorganismy, jako jsou řasy, bakterie, houby a viry. [9]

Tabulka 2.4 - Orientační složení splaškových odpadních vod [9]

Ukazatel	rozmezí hodnot	jednotky
Hodnota pH	6,5 - 8,5	[-]
Nerozpuštěné látky	200 - 700	mg/l
- z toho usaditelné	73	%
- z toho neusaditelné	27	%
Rozpuštěné látky	600 - 800	mg/l
BSK ₅ s potlačením nitrifikace	100 - 400	mg/l
CHSK - Cr	250 - 800	mg/l
TOC (DOC)	asi 250	mg/l
N _{celk}	30 - 70	mg/l
N-NH ₄	20 - 45	mg/l
P _{celk}	5 - 15	mg/l
Poměr BSK ₅ :CHSK _{Cr}	0,5	[-]

2.2.1 Fyzikální vlastnosti

Mezi tyto ukazatele vody patří

- Skupenství -skupenství má voda tři – kapalné, plynné a tuhé. Mění se v závislosti na teplotě
- Hustota – zjišťuje se u vzorků s vysokým obsahem rozpuštěných látek a dále v případech, kdy se míchají různé znečištěné vody a kdy rozdíly v hustotě mohou ovlivnit průtokové poměry v čistírnách odpadních vod
- Viskozita– projevuje se při jejich toku a vysvětluje představu o posunování rovnoběžných vrstev kapaliny, při němž se mezi nimi uplatňuje vnitřní tření
- Stlačitelnost
- Povrchové napětí
- pH - hodnota pH je jedním z nejcitlivějších ukazatelů rovnovážných stavů v přírodních vodách a je definována jako záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů
- Oxidačně-redukční potenciál - určuje oxidační nebo redukční podmínky ve vodách a jeho stanovení umožňuje výpočet poměrného zastoupení jednotlivých forem výskytu daného prvku ve vodě
- Konduktivita - vedení elektrického proudu ve vodě, spočívá v přítomnosti kationtů a aniontů, uvolněných v průběhu disociace elektrolytů
- UV absorpce - schopnost vody absorbovat UV záření v závislosti na koncentraci rozpuštěných látek [9]

2.2.2 Chemické vlastnosti

Chemicky čistá je pouze voda destilovaná. Vodu vyskytující se v přírodě můžeme považovat za roztok různých plynů, anorganických i organických látek. Z chemického hlediska rozdělujeme látky obsažené ve vodě na organické a anorganické. [6]

Látky přítomné ve vodě lze klasifikovat také podle jejich kvantitativního zastoupení. Při této klasifikaci se zohledňuje i základní oběh látek a dělí se na pět tříd u rozpuštěných látek a na dvě třídy u nerozpuštěných látek. [9]

U nerozpuštěných látek jsou v I. třídě látky neusaditelné, usaditelné a splývavé a v II. třídě mikroorganismy, jako jsou řasy, bakterie, houby a viry. [9]

2.2.3 Radiologické vlastnosti

Radionuklidy mohou být přítomny ve vodách v rozpuštěné nebo nerozpuštěné formě, jako jednoduché nebo komplexní ionty. Stupeň radioaktivity vod závisí na obsahu rozpuštěných radionuklidů. Přírodní radioaktivita je způsobena přítomností radionuklidů, jako jsou např. ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{238}U , ^{230}Th nebo ^{40}K . Obohacování přírodních vod radioaktivními nuklidy je podmíněno emanačními procesy, vyluhováním a rozpouštěním nerostných látek. Radiotoxicita jednotlivých radionuklidů závisí hlavně na poločasu rozpadu, druhu a energii

emitovaného záření, metabolismu prvku a biologické rychlosti vylučování radionuklidu z organismu. [9]

2.2.4 Mikrobiologické vlastnosti

Ukazatel čistoty vody – voda je tím kvalitnější, čím méně je v ní života. Mezi tyto ukazatele patří:

- Koliformní bakterie
- Fekální koliformní bakterie – indikátorem fekálního znečištění ve vodě
- Enterokoky – značí čerstvé znečištění (3-5 dnů)
- Mezofilní bakterie – teplota kultivace 37°C
- Psychrofilní bakterie – teplota kultivace 20°C [27]

2.2.5 Biologické vlastnosti

- Saprobni index – zastoupení saprobních organismů
- Trofická úroveň – umístění v potravinovém řetězci, vyjádřené počtem stupňů přenosu energie potřebných k dosáhnutí dané trofické úrovně[27]

3 ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD

Čistírna odpadních vod slouží k čištění vod přiváděných kanalizačním systémem z města či obce prostřednictvím soustavy čerpacích stanic.

Nejčastějším typem používaných ČOV v ČR je mechanicko - biologická čistírna odpadních vod. Velké čistírny většinou kombinují všechny dostupné čistící procesy. Patří sem mechanické, biochemické a chemické procesy. V rámci čistírny jsou zařizovány další objekty na likvidaci vzniklých kalů a látek, jako jsou kalová a plynová hospodářství. Čištění městských odpadních vod zahrnuje odstranění nebo snížení koncentrace hrubých nečistot, suspendovaných částic, koloidních a biologicky rozložitelných látek, nutriků, sloučenin dusíku a fosforu a patogenních organismů. [2]

3.1 MECHANICKÝ STUPEŇ ČIŠTĚNÍ

Z hlediska technologie čištění se jedná o poměrně jednoduché procesy založené na jevech, jako jsou sedimentace, flotace nebo cezení. Při návrhu těchto zařízení je nutno zohlednit druh, charakter, stav a stupeň technického zabezpečení stokové sítě.

3.1.1 Česle a síta

Pro odstranění hrubých nečistot a látek z vody o velikosti zrn do 1 mm, výjimečně i méně, jsou vhodné česle a síta. Bývají různé konstrukce a rozličné velikosti průlin, případně otvorů, které určují velikost zachycených částic. Zařízení, sloužící k hrubému a jemnému cezení vody, se používá jako první čistící článek v kanalizačních čistírnách s hlavní funkcí chránit zejména čerpadla proti poškození. [5]

a) Hrubé česle

Hrubé česle pozůstávají z vertikálních nebo nakloněných ocelových tyčí umístěných ve stejných vzdálenostech napříč žlabu, ve kterém protéká odpadní voda. Velikost průlin u hrubých česlí bývá 5 až 20 cm. Slouží obvykle jako ochrana čerpadel před poškozením většími předměty. Vzhledem k tomu, že množství zachyceného materiálu bývá malé, bývají obvykle stírány ručně. [5]

b) Jemné česle

Jemné česle mají průliny obvykle široké 10 až 20 mm. V příčném profilu mají tvar části kruhu nebo jsou přímé se sklonem ve směru proudu vody. Jsou zpravidla strojně stírané. Provedení česlí bývá z oceli a shrabky padají do přistaveného kontejneru nebo na transportní pás. [5]

c) Samočisticí česle

Jsou složeny ze segmentů tvořících nekonečný pás jako síto s průlinami. Pás se otáčí, při čemž zubová část segmentů vynáší zachycené shrabky a v horní části pásu při změně směru pohybu padají dolů do kontejneru, na dopravník nebo jsou vytlačeny šnekovým dopravníkem. [10]

d) Stupňové česle

Jedná se o pohyblivé česle ve tvaru pásů, na nichž jsou z nátokové strany vytvořeny zářezy ve tvaru schodů. Shrabky zachycené na česlicích a zvolna sunuté nahoru přispívají k zachycení dalších shrabků. [10]

e) Spádová síta

Spádová síta jsou filtrační plochy, které mají vůči horizontální poloze v horní části velký sklon a ten se směrem dolů zmenšuje. Tuto plochu tvoří vodorovně položené česlice (silné dráty) z nerez oceli, mezi nimiž jsou otvory kolem 1 mm. Použití těchto sít je převážně v potravinářském průmyslu. [10]

f) Bubnová pohyblivá síta

Síto je tvořeno otáčivým bubnem s česlicemi, které se v profilu směrem dolů v bubnu rozšiřují, čímž se snižuje nebezpečí jejich ucpávání při postupu znečištěnou odpadní vodou. Voda prochází česlicovým bubnem z vnějšku, uvnitř rotuje a opět vytéká dnem bubnu. Částice větší než průliny se na bubnu zachytí a jsou stírány mechanicky. Menší částice, které uvíznou mezi česlicemi, jsou vypláchnuty proudem vody odtékajícím z bubnu. Otáčení bubnu je regulováno automaticky. [10]

g) Bubnová nepohyblivá síta

Odpadní voda u nich natéká do šikmo položeného bubnu, tvořeného kruhovými česlicemi a průlinami mezi nimiž vytéká voda ven z bubnu a je zbavená látek, které se zachytí na česlicích. Jejich profil se směrem ven z bubnu rozšiřuje. [10]

3.1.2 Lapák písku

Lapák písku je zařízení, které slouží k zachytávání písku a minerálních částic s takovou účinností, aby byla zajištěna ochrana dalších objektů a zařízení na ČOV. Lapák písku je navržen tak, aby byly zachyceny částice do velikosti zrn 0,2 až 0,25 mm. Lapáky se dělí dle způsobu odstraňování a dle směru průtoku. [5]

Množství a složení písku, zachyceného z odpadních vod, kolísá ve značném rozsahu podle typu kanalizační soustavy, druhu výpustí, způsobu udržování stokové sítě, typu odlehčovacích komor a poměru ředění, podle povrchové úpravy a sklonu odkanalizovaného území, klimatických podmínek a vlastností půdy, konstrukce a stavu kanalizačního systému, podílu a charakteru průmyslových odpadních vod a podle typu a funkce lapáku písku. [10]

Lapáky s horizontálním průtokem

a) Komorový lapák písku

Představitelem této skupiny je podélný usazovací žlab s akumulačním prostorem na zachycování písku. Navrhuje se pro odpadní vody obsahující pouze minerální částice, za předpokladu, že průtok je neměnný. Vzhledem k tomu, že průtok na čistírně kolísá, navrhuje se vždy více žlabů paralelně vedle sebe. Stálou požadovanou rychlost lze ve

všech žlabech udržet Parshalovým žlabem, který je umístěn na společném odtokovém žlabu. [10]

b) Štěrbínový lapák písku

Skládá se ze žlabu obdélníkového nebo trojúhelníkového průřezu, jehož dno má takový sklon, aby i za nejmenších průtoků neklesla rychlost pod 0,15 m/s a za největších průtoků nepřekročila hodnotu 0,4 m/s. Dno žlabu je vyřešeno příčnými nebo podélnými štěrbinami, kterými písek propadá do boční šachty a odtud se ručně těží nebo vyčerpá mamutkou. [10]

c) Lapák písku komorový s kontrolovanou rychlostí

Průtok odpadní vody se mění a způsobuje kolísání průřezových rychlostí v komorových lapácích písku, a tím je i nestálý čistící účinek. Komorový lapák tento nedostatek odstraňuje. Hydraulicky je řešen tak, že poměr průtoků je stálý pro očekávaný rozsah průtoků odpadních vod. K zachování konstantní rychlosti proudění v horizontálním lapáku písku musí být navrhnout odpovídající profil odtoku. [10]

Lapáky s vertikálním průtokem

a) Vírový lapák písku

Tento lapák je navržen na základě využití odstředivé síly, pomocí níž je možno od sebe oddělit látky s různou hustotou. Odpadní voda je přiváděna tangenciálně do válcové nádrže, písek je vynášen na obvod nádrže a vířivým pohybem vody je strháván na dno kuželovité prohlubně, odkud se těží mamutkou. [10]

b) Provzdušňovaný lapák písku

Jedná se o horizontální žlab, v němž se příčná cirkulace vytváří umělým provzdušňováním podél jedné strany žlabu. Jejich hlavní výhodou je nezávislost na kolísání průtoků a předčištění odpadní vody. [11]

3.1.3 Lapák tuků a plovoucích nečistot

Lapák tuků je kontinuálně protékaná nádrž, v níž při zpomaleném proudu dochází k vyplouvání částic s hustotou menší, než je hustota vody k hladině, na níž se akumulují a periodicky odstraňují. Nornou stěnou je zabráněno úniku těchto látek s vyčištěnou vodou. [5]

K látkám s hustotou menší než je hustota vody patří především ropné látky (i když některé jejich frakce jsou těžší než voda) a tuky. Na částice působí v separačním procesu stejné síly jako při odlučování částic sedimentací. Rozdíl je jen v tom, že síla vztlaku je větší, než síla gravitační, a proto se částice pohybují vzhůru, při čemž síla odporu třením má opačný směr než je pohyb částice. [10]

Jako gravitační odlučovač působí každá nádrž, v níž se zpomalí průtok, uklidní hladina a částice s hustotou menší než je hustota vody stoupají ke hladině, kde se hromadí, pokud vhodnou úpravou nádrže zabráníme jejich vyplavení do odtoku. Nejjednodušším zařízením

tohoto typu jsou odlučovače Lapol. V podstatě se jedná o kontinuálně protékanou nádrž, v níž při zpomaleném proudu dochází k vyplouvání částic k hladině a k jejich periodickému odstraňování. [10]

Pro čištění málo stabilních emulzí je možno použít koalescenční filtr. Voda protéká vrstvou materiálu s ostrými hranami (střepy), přičemž na jejich hranách se shlukují emulgované částice do větších kapének, které lze již separovat gravitací. Za touto vrstvou je pak lapač oleje. Zvýšení účinnosti lze dosáhnout pomocí lamel. Odpadní voda se před vstupem do lapače čistí sedimentací a pak přitéká do odlučovacího prostoru se soustavou lamel kruhového tvaru. Odloučené kapky oleje se na horních plochách lamel spojují do větších kapek a ty se sunou souproutým pohybem po stěnách ke kraji, kde se odlučují na hladinu. [10]

3.1.4 Flotace

Flotace je separační proces, používaný pro oddělení dispergovaných částic z kapaliny, při kterém se tyto částice spojují s mikrobublinami plynu za vzniku flotačních komplexů lehčích než voda a tedy vznášejících se k hladině. [10]

3.1.5 Usazování

Usazování patří k nejrozšířenějším procesům, kde separace tuhých částic je dána gravitací a závisí na velikosti a tvaru částic a hustotě kapaliny. Z hlediska usazování je důležitý i charakter suspenze. [5]

Usazovací nádrže jsou zařízení, které slouží ke gravitační separaci suspendovaných látek obsažených v odpadní vodě. Dělí se na primární, kde se separují suspendované částice z odpadní vody, a sekundární, kde se separuje biologický kal při biologickém čištění. [5]

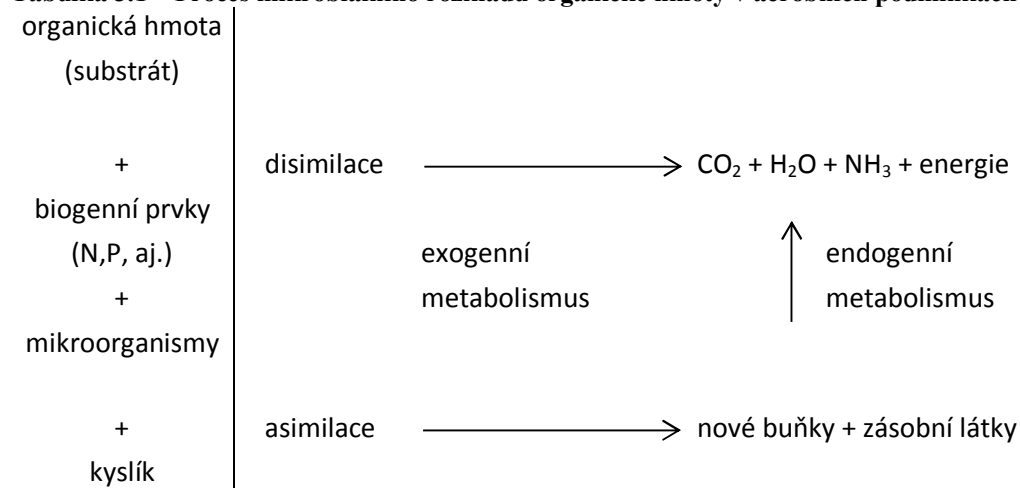
3.2 BIOLOGICKÝ STUPEŇ ČIŠTĚNÍ

Základním principem všech biologických čistírenských procesů jsou biochemické oxidačně redukční reakce. Rozhodujícím faktorem pro rozdělení těchto reakcí je konečný akceptor elektronů a s tím související hladiny oxidačně-redukčních potenciálů. [10]

3.2.1 Aerobní biologické pochody

Při biologickém čištění odpadních vod v aerobních podmínkách se uplatňují biochemické procesy, podmíněné činností aerobních mikroorganismů, které rozkládají organické látky obsažené ve vodě (substrát) oxidačními procesy za přítomnosti molekulárního kyslíku. Schematicky lze proces mikrobiálního rozkladu organické hmoty v aerobních podmínkách znázornit takto [10]:

Tabulka 3.1 – Proces mikrobiálního rozkladu organické hmoty v aerobních podmínkách [10]



Aerobní mikroorganismy rozkládají organické látky působením svých enzymů oxidačními procesy, přičemž využívají k této oxidaci molekulární kyslík. Konečnými produkty tohoto složitého procesu jsou CO_2 , H_2O a z pravidla amoniak. [10]

Zajištění dostatečného přívodu kyslíku je základní podmínkou pro aerobní procesy. Mikroorganismy v potřebném množství na biologické jednotce musí být vypěstovány jejím zpracováním, při čemž se vychází z její přítomnosti ve splaškové vodě. [10]

Způsoby aerobního čištění odpadních vod se rozděluje na přirozené, simulující přírodní podmínky a na umělé, probíhající v reaktorech. Ty umělé procesy se dále dělí na procesy s biomasou ve vznosu, nazývané aktivací a na procesy s biomasou přisedlou, mezi nimiž mají dominantní postavení zkrápěné biologické kolony a rotační diskové reaktory. [10]

Biologické čištění může být samostatnou čistírenskou jednotkou po eventuálním hrubém předčištění. Při čištění odpadních vod obsahujících suspendované látky a u čistíren, ve kterých není přebytečný biologický kal stabilizován přímo v aerobní biologické jednotce, je vhodné předradit biologickému čištění usazovací nádrž. U odpadních vod s vysokou koncentrací organického znečištění je účelné zařadit jako první stupeň anaerobní biologickou jednotku a odtok z ní dočistit aerobním způsobem. [10]

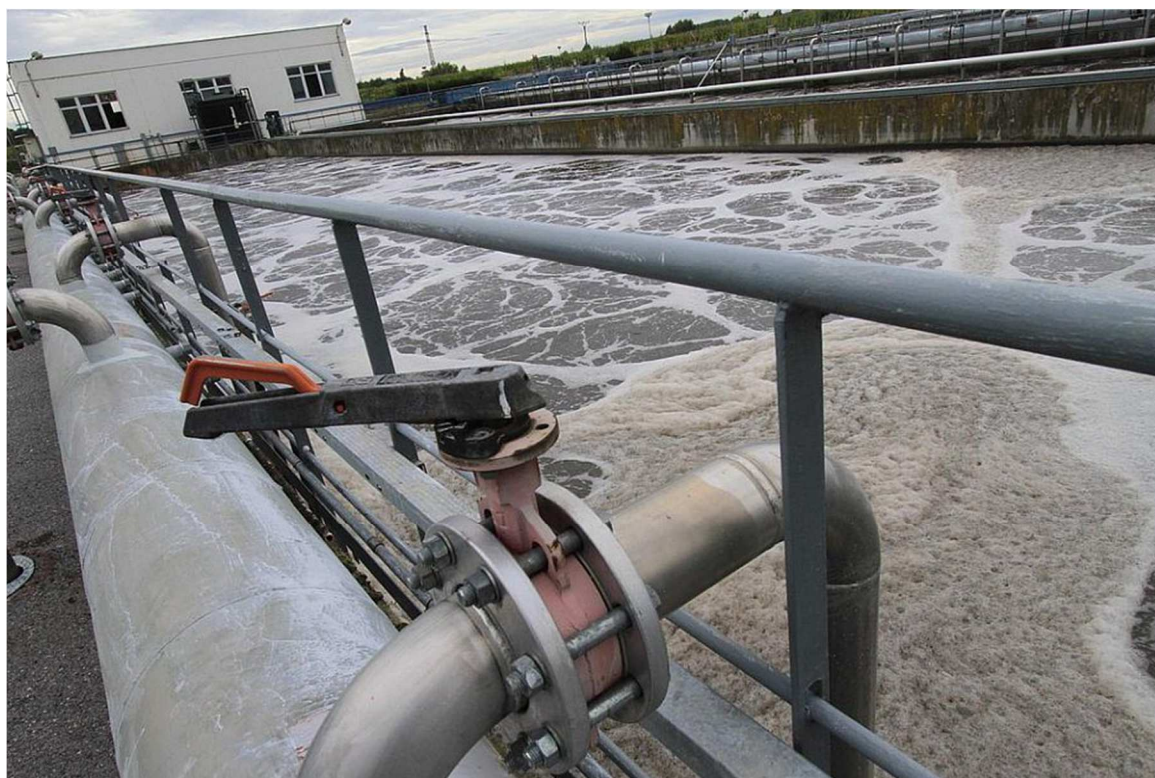
Pro posouzení provozu biologické aerobní jednotky jsou výchozími podklady průtokové množství odpadní vody a její kvalita na vstupu a výstupu u této jednotky. U aerobních procesů je základním kritériem pro hodnocení koncentrace organických látek (biologicky rozložitelných) v odpadní vodě BSK_5 . Z koncentrací na vstupu a odtoku z ČOV, nebo z některého stupně, se hodnotí čistící účinnost. [10]

Mikroorganismy – enzymy sehrávají mimořádnou roli v růstu a příjmu energie. Enzymy jsou organické katalyzátory produkované živými buňkami. Jsou to proteiny nebo proteiny kombinované s anorganickými molekulami nebo s organickými molekulami s malou molekulární hmotou, které urychlují chemické reakce. [10]

Aktivace

Princip biologického čištění aktivací spočívá ve vytvoření aktivovaného kalu v provzdušňované aktivační nádrži. Aktivovaný kal je shlukem mikroorganismů, většinou bakterií, agregovaných tzv. bioflokulací. Příčinou tohoto shlukování bakteriálních jedinců je zbytnění buněčné blány tvorbou extracelulárních polymerů, složených převážně z polysacharidů, částečně z bílkovin a dalších organických látek. K bioflokulaci dochází při provzdušňování odpadní vody obsahující aerobní bakterie. Hmotnostní podíl uvedených polymerů ve směsné kultuře roste od cca 1% do 6% s růstem stáří kalu od 1 do 5 dnů. S dalším zvyšováním stáří se již jejich podíl téměř nemění. Extracelulární polymery působí jako organické flokulanty. Pro tuto jejich vlastnost dochází ke shlukování bakterií do vloček aktivovaného kalu, při jejichž tvorbě hraje roli i snížení elektrického náboje na jejich povrchu. Aktivovaný kal je směsnou bakteriální kulturou, obsahující příp. i jiné organismy, například houby, plísňe, kvasinky, prvoky aj., ale také z vody adsorbované suspendované a koloidní látky. [10]

V základním uspořádání sestává aktivace z aerované nádrže (reaktoru), kde dochází k procesu čištění odpadní vody za současné produkce aktivovaného kalu. Z aktivační nádrže odtéká směs odpadní vody a aktivovaného kalu do dosazovací nádrže, kde se obě tyto složky oddělí sedimentací. Vyčištěná odpadní voda odtéká z biologické čistírny, kdežto sedimentací zahušťovaný aktivovaný kal je vrácen do aktivační nádrže, v níž je udržovaná jeho dostatečná koncentrace, neboť je nositelem čistého. Objemový podíl recirkulovaného kalu bývá 30 až



Obrázek 3.1 - Aktivační nádrž [14]

50%, někdy je však i podstatně větší. Přebytek aktivovaného kalu, neboť tento se průběžně stále tvoří, je odváděn ze systému jako kal přebytečný. [10]

AKTIVOVANÝ KAL

Surový kal obsahuje okolo 70% organických látek v sušině a vzhledem k možné přítomnosti patogenních organismů je dle zákona o odpadech klasifikován jako nebezpečný odpad se všemi důsledky z toho plynoucími. Anaerobní stabilizací se množství organických látek snižuje na cca 50% v sušině a rovněž se významně snižuje obsah patogenních mikroorganismů. Množství produkovaných čistírenských kalů je ve srovnání s ostatními odpady relativně malé. Řešení problematiky čistírenských kalů je a bude úzce spojeno s přístupem ke zpracování odpadů v ČR obecně. [11]

Termochemickými procesy (pyrolýza, zplyňování) můžeme transformovat biomasu a organické látky na dále zhodnotitelné chemikálie a materiály. To plně platí i pro případ čistírenských kalů. Pro zpracování kalů je z thermochemických procesů nejvíce preferovaná pyrolýza. Do reaktoru je vkládán vstupní materiál – částečně nebo zcela sušený kal, který je zahříván a rozkládá se na menší a jednodušší molekuly plynu, oleje a pevného zbytku – biocharu. Podle rychlosti ohřevu a finální teploty se rozeznává pyrolýza rychlá a pomalá. [11]

Rychlá pyrolýza má rychlý teplotní nárůst, krátkou dobu zdržení v reaktoru a vysokou finální teplotu (až 1000°C). Vzniká při ní vyšší podíl pyrolytického oleje (60-70%) a nižší podíl biocharu (15-25%) a pyrolýzního plynu (10-20%). Naopak při pomalé pyrolýze je nárůst teploty pozvolný a finální teplota se pohybuje až do 800°C, vzniká 20-25% hm. bio-oleje, 25-35% hm. plynu, a 35-55% hm. biocharu. Chemické i fyzikální vlastnosti vzniklých produktů jsou ovlivněny vstupním materiálem a zvolenými podmínkami pyrolýzy. [11]

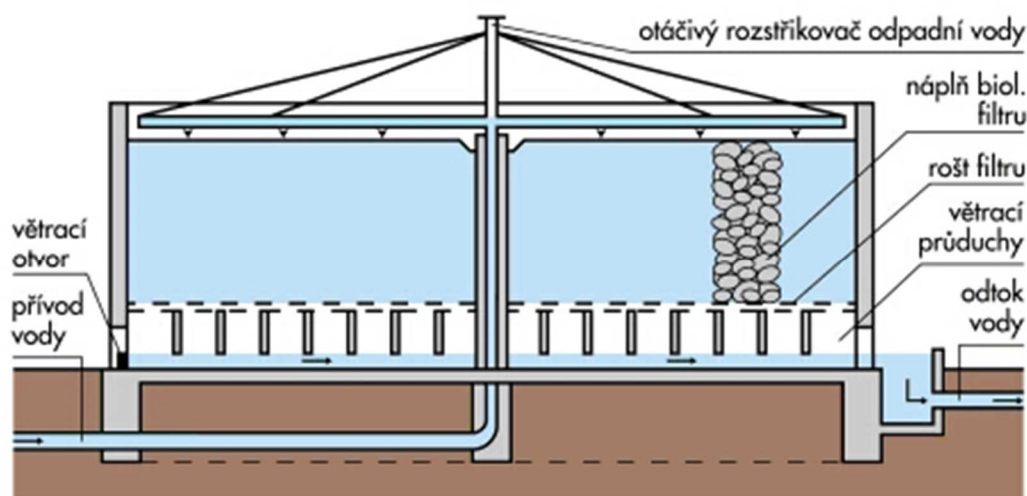
Další využití čistírenských kalů je použití biocharu s vysokým obsahem fosforu jako hnojivo. Vzhledem k tomu, že udržitelnost fosforu je celosvětově uznávaná výzva, spojená s globální bezpečností potravin, eutrofizací povrchových vod a čištěním odpadních vod, některé země již vytvořily politický rámec, týkající se fosforu v zájmu zvýšení jeho recyklace. Tyto snahy jsou zaměřeny na fosfor v čistírenských kalech. [11]

Lepší využívání fosforu jako hnojiva, snížení ztrát z plošných zdrojů do povrchových vod a rozvoj recyklace mohou přinést významné zlepšení kvality vody, ekonomické přínosy, snížení závislosti EU na dovozu fosfátových hornin atd. Velmi atraktivní je využívání biocharu jako jednoho z produktů pyrolýzy čistírenských kalů jako komponenty hnojiv. Fosfor a uhlík jsou transformovány do takové podoby, kdy mohou přispívat ke zlepšení kvality půd. [11]

Biologické zkrápěné filtry

Charakteristickým rysem biofilmových reaktorů je kultivace biomasy ve formě nánosu – biofilmu, tj. imobilizované na vhodném nosiči. Z toho hlediska je účelné rozdělit biofilmové

reaktory podle typu nosiče a podle způsobu jeho kontaktu s odpadní vodou a případně se vzduchem. [10]



Obrázek 3.2 - Biologický filtr [15]

Biologické stabilizační nádrže

Stabilizační nádrže jsou zemní nádrže, v nichž probíhá biologické čištění odpadní vody analogickým způsobem jako při samočisticích procesech v přirozených nebo umělých vodních nádržích. Nomenklatura není zcela ustanovena – někdy bývají nazývány také biologické rybníky, doporučuje se však tento název používat jen pro stabilizační nádrže, v nichž alespoň v části roku jsou pěstovány ryby. [10]

Dle funkce lze rozdělit stabilizační nádrže takto:

- Pro biologické čištění odpadních vod
- Pro dočišťování odpadních vod po předchozím biologickém čištění
- Kombinované, pro biologické čištění a dočišťování odpadních vod, zpravidla jako intenzifikační prvek přetížených ČOV, u nichž není část odpadních vod čištěna vůbec nebo jen mechanicky [10]

Stabilizační nádrže se podle účasti molekulárního kyslíku v čistícím procesu dělí na nádrže aerobní a anaerobní. Vedle nich se ještě rozlišují nádrže fakultativní, v nichž po určitou dobu probíhají procesy anaerobní a následně procesy aerobní, případně naopak (diskontinuální), kdy oba děje mohou probíhat současně v různých částech nádrže, na dně v sedimentech procesy anaerobní a v horních, prokysličených vrstvách nádrže procesy aerobní. Poněvadž anaerobní procesy neposkytují tak dobrou kvalitu odtoku, je nutno, aby alespoň poslední stupeň čištění před vypouštěním odpadní vody do vodního recipientu, probíhal v prostřední aerobní.[10]

Anaerobní stabilizační nádrže se používají pro čištění koncentrovanějších odpadních vod, zvláště průmyslových s převahou organického znečištění (cukrovary, mlékárny). Tvoří

první stupeň systému čištění těchto odpadních vod, za nímž jsou zařazeny aerobní stabilizační nádrže. Oba procesy mohou proběhnout i v jedné fakultativní nádrži s diskontinuálním provozem, což lze použít při sezónním čištění odpadních vod. [10]

3.2.2 Anaerobní procesy

Rozklad organických látek za anaerobních podmínek je výsledkem součinnosti několika mikrobiálních skupin, jejichž metabolické procesy na sebe navazují. Produkty metabolismu jedné skupiny jsou substrátem pro skupinu další. [10]

Počátek rozkladu biopolymerů probíhá procesem hydrolýzy. Fermentační stupeň rozkladu nazýváme acidogenezí. Významné postavení v procesu methanizace má kyselina octová. Procesy, které vedou k její produkci metabolismem fakultativně aerobních bakterií, se nazývá acetogeneze. Kyselina octová může vznikat již v průběhu acidogeneze. Další její podíl je tvořen při anaerobním rozkladu z organických kyselin s větším počtem C-atomů, než má kyselina octová, dále z alkoholů nebo z kyseliny benzoové. Variantně může vznikat vedle kyseliny octové i vodík. Procesy vedoucí k produkci látek, které jsou substrátem pro methanogenní bakterie, se nazývají předmethanizační fáze rozkladného procesu. [10]

Kultivace anaerobní biomasy

Řízené anaerobní procesy lze s výhodou využít pro čištění odpadních vod a pro stabilizaci kalů. Proces je realizován v anaerobním reaktoru. Anaerobní mikroorganismy, podílející se na rozkladném procesu, mohou být v reaktoru přítomny jednak jako volní jedinci, kteří však nemají pro kultivaci biomasy podstatný význam, neboť jsou ze systému vyplavovány, jednak přisedlé jako biofilm na pevném podkladu nebo v suspenzi. [10]

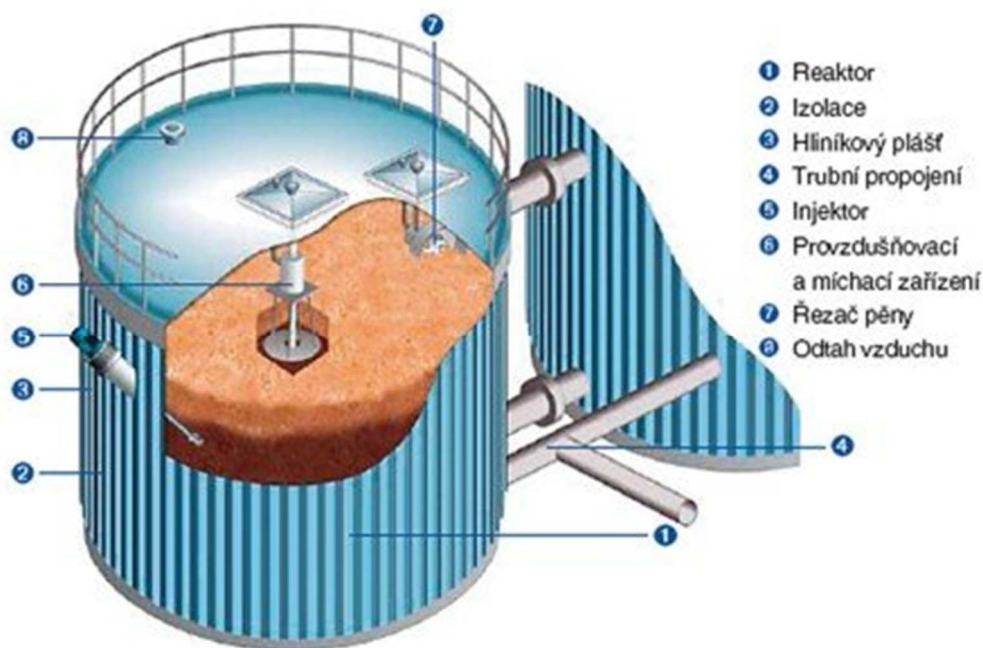
Anaerobní reaktory

Výkonnost anaerobního reaktoru závisí na:

- Množství biomasy v reaktoru – je závislé na konstrukci reaktoru a provozních podmínkách
- Aktivitě biomasy – závisí na provozní teplotě i způsobu kultivace biomasy – zejména na látkovém a hydraulickém zatížení, které ovlivňuje její stáří a mikrobiální složení
- Složení odpadní vody – biologické odbouratelnosti organických látek a jejich koncentraci, přítomnosti dalších sloučenin (toxických, nutričních, aj.)
- Styku biomasy se substrátem odpadní vody – záleží na konstrukci reaktoru a způsobu jeho provozování [10]

Z hlediska způsobu kultivace lze anaerobní reaktory pro čištění odpadních vod rozdělit do dvou hlavních skupin:

- S kultivací biomasy v suspenzi: Tyto reaktory jsou realizovány nádrží, míchanou recirkulovaným bioplynem (kompresorem) nebo mechanickým míchadlem. Jedná se tedy o systémy směšovací. Rozlišují se reaktory bez recirkulace a s recirkulací.
- S kultivací imobilizované biomasy: Tyto reaktory jsou charakteristické tím, že biomasa tvoří film, fixovaný (imobilizovaný) na pevném nosiči, který je realizován buď pevnými nebo pohyblivými vestavbami, případně vhodnou náplní reaktoru. [10]



Obrázek 3.3 - Anaerobní reaktor [33]

3.3 LÁTKY ZÍSKÁVANÉ Z ODPADNÍCH VOD ZPĚT

Voda vypouštěná domácími toaletami, restauracemi s myčkami nádobí, ze zemědělských odtoků, z výrobních procesů a z dalších velkých průmyslových zařízení může obsahovat škodlivé látky. Naštěstí je řada účinných metod, které se používají k získání těchto látek zpět. Kterou použít závisí na tom, které látky a v jakých koncentracích jsou přítomny. [12]

Základnější a málo nákladné způsoby spočívají v přidání látek, které umožní, aby se daly lépe odstranit ty škodlivé. Když se přidá plynný chlór nebo chlórové tablety, chlorace zničí bakterie a jednoduché filtry z uhlí mohou odstranit některé suspendované pevné látky. Jiné metody zahrnují odstranění rozpuštěných látek pomocí koagulace s činidlem jako je alum. [12]

Dalšími procesy jsou ultrafiltrace a nanofiltrace, kde se za použití membrán s malými póry odstraňují kontaminující látky. Membrány jsou vyrobeny z organických sloučenin nebo polymerů tak, aby voda prošla, ale pevné látky se zachytily. Jednou z nejpoužívanějších metod je reverzní osmóza, při které polopropustná membrána odděluje kontaminovanou vodu od té čisté. [12]

Pak to jsou destilační procesy, ve kterých se v podstatě vře voda a ta kondenzuje. Teplota se zvyšuje, ohřívá vodu a tím ničí bakterie. Jak se voda odpařuje, zůstávají jen pevné znečišťující látky. Čistá voda se pak znovu zkondenzuje. Destilace však vyžaduje vysokou spotřebu energie. [12]

Dusík

Obsah dusíkatých látek v životním prostředí, a tudíž i ve vodách, je nežádoucím jevem z více důvodů. Atmosferický dusík je vázán především ve dvou produktech, tj. amoniaku a dusičnanech. Tyto chemické látky slouží hlavně k výrobě umělých hnojiv, i když jejich produkce se v současné době výrazně nezvyšuje. Amoniak je v půdě vázán poměrně pevně a jeho průnik do podzemních vod je malý. Avšak půdní nitrifikační bakterie jej mohou oxidovat na dusitany a dusičnany, které v půdním komplexu nejsou vázány a pronikají do podzemní vody a toků. Ke zvyšování obsahu dusičnanů ve vodách samozřejmě velkým dílem přispívají dusičnany přímo obsažené v hnojivech. Dalšími významnými zdroji dusíku ve vodách jsou odpady živočišné zemědělské výroby, některé průmyslové celky, splachy s obsahem různých forem dusíku apod. [28]

Metod odstraňování dusíkatých látek není mnoho, jsou buďto chemické nebo biologické. Chemické metody musí vedle dostatečné účinnosti splňovat jeden ze základních požadavků kladených na čištění vod, tj. ve vyčištěné vodě nemohou zůstat jiné chemické látky, ať již jako zbytky vnášených reagentů nebo jako produkty reakce hlavní či reakcí vedlejších. [28]

Prvním vhodným postupem je vícestupňová syntéza. V prvním stupni proběhne aktivovaná reakce kyseliny fosforečné se směsí oxidů kovů, především s MgO. Vznikne přitom vodní suspenze meziprojektu na bázi hydrogenfosforečnanu hořečnatého. Ten se v druhém stupni podrobí konverzi za přesně stanovených podmínek s amoniiovými ionty. Tím se získá hlavní produkt. Ten se separuje filtrací nebo odstředěním a ze zbylého roztoku se ve třetím stupni vysráží nadbytečné reakční komponenty přidavkem hydroxidu vápenatého. Získaný fosforečnan hořečnatoamonný spolu s vedlejším produktem lze výhodně využít jako směsné a vícesložkové hnojivo. Tento proces vyžaduje relativně malé investiční náklady, výrobní zařízení je jednoduché, přesto však, vzhledem ke spotřebě kyseliny fosforečné, je vhodný pro menší kapacity. [28]

Druhá chemická metoda byla vyvinuta v souvislosti s ekologickým využitím prasečích exkrementů, konkrétně s čištěním odpadní vody po methanové fermentaci (vzniku bioplynu). Vlastní technologie je tvořena několika navazujícími stupni:

- Alkalizace
Voda po methanové fermentaci je alkalizována přidavkem hydroxidu vápenatého – vápenného mléka. Přidáním této silné zásady dojde k substituci amonných iontů vápenatými a NH_3 se uvolní z chemické vazby.
- Sedimentace
Odstraní se málorozpustný uhličitán a fosforečnan vápenatý, které vznikly při alkalizaci.
- Rekuperace
Znovuvyužití tepla obsaženého v odčpavkované odpadní vodě k předehřátí odpadní vody přiváděné do rektifikační kolony.
- Rektifikace
Probíhá v rektifikační koloně skládající se z vařáku, vypuzovací části, obohacovací části a kondenzátoru. Při rektifikaci se z vody vyvaří zhruba 90 % přítomného amoniaku a získá se ve formě čpavkové vody.
- Absorpce
Čpavková voda je pro přímé další použití, zejména pro hnojení, nevhodná, a proto se do ní absorbuje oxid uhličitý ze získávaného bioplynu. Z absorpce vystupuje jako kapalná fáze koncentrovaný roztok technického uhličitánu amonného a bioplyn se sníženým obsahem CO_2 , tudíž se zvýšenou kalorickou hodnotou.[28]

Biologicky se dusík z vod dostává tzv. biologickou nitrifikací. Tak nazýváme děj, při kterém je amoniakální dusík v oxickém prostředí oxidován hlavně litotrofními nitrifikačními bakteriemi v prvním stupni na dusitany a v druhém na dusičnany. Touto oxidací získávají bakterie energii pro své životní pochody a pro syntézu buněčné hmoty využívají CO_2 , část přítomného amoniakálního dusíku a další anorganické živiny, zejména fosfor. Biologické

nitrifikaci je přístupný pouze amoniakální dusík. Dusík obsažený v organických látkách musí být nejprve amonifikován (deaminován) činností jiných druhů bakterií. [28]

Pro nitrifikační bakterie je charakteristická dlouhá generační doba. Rostou o řád pomaleji než obvyklé heterotrofní organismy aktivovaného kalu. Musí se proto dbát na dostatečnou dobu zdržení aerobního aktivovaného kalu v nitrifikační nádrži. Vhodné stáří kalu závisí na uspořádání procesu, na zatížení nádrží atd. Pro běžné uspořádání a běžné kolísání obsahu dusíku v komunálních vodách je udáváno vhodné stáří kalu minimálně 4 dny. Pro méně příznivé podmínky může být nutné ještě vyšší stáří. [28]

K biologické nitrifikaci je vhodné přiřadit i biologickou denitrifikaci, což je pochod, při kterém jsou činností organotrofních bakterií v anoxických podmínkách redukovány dusitany a dusičnany až na elementární dusík (někdy na NO či N₂O), který je tímto postupem z vody odstraňován a vrácen do původní formy. Jako zdroj uhlíku může sloužit jakýkoli biodegradabilní organický materiál – již zmíněný methanol, ethanol, aceton, primární odpadní voda atd. Rychlost denitrifikace je pochopitelně silně ovlivněna charakterem tohoto zdroje. Biologická denitrifikace je vedle zdroje uhlíku citlivá i na řadu dalších parametrů. Jedním z nejdůležitějších je teplota, neboť ovlivňuje růst denitrifikačních mikroorganismů i rychlost eliminace dusíku. S růstem teploty roste i rychlost denitrifikace. Pro denitrifikaci je vhodné pH blízké neutrálnímu. Obvykle je žádoucí, aby odpadní vody přicházející k čištění obsahovaly dusík pouze v oxidované formě. Ten ale bývá ve vodách přítomen i v redukované formě, jako amoniakální nebo organický dusík. Denitrifikace je tudíž proveditelná pouze ve spojení s nitrifikací. [28]

Fosfor

Množství fosforu v odpadní vodě se uvádí přibližně 3 g na osobu a den a většina z tohoto množství pochází z lidských exkrementů. Do vodotečí se fosfor dostává převážně ze zemědělství. Hovoří-li se o celkovém množství fosforu, obvykle se jedná o sumu těchto tří forem:

- ortofosfáty, tj. soli běžné kyseliny ortofosforečné H₃PO₄,
- polyfosfáty, tj. soli polyfosforečných kyselin,
- organicky vázaný fosfor. [28]

Redukce obsahu fosforu v konvenčních biologických čistírnách odpadních vod někde nedostačuje k tomu, aby byl zamezen nežádoucí rozvoj a růst organických organismů. Je proto třeba zavést čistící operaci zaměřenou speciálně na fosfor. Ten může být z vody odstraněn biologicky nebo chemicky. [28]

Při chemických metodách se využívá srážení rozpuštěného fosforu jako ortofosfátů ve formě nízkorozpustných kovových solí. Polyfosfáty takto odstranit nelze. Odstraní se přitom i část organicky vázaného fosforu, neboť je při srážení odstraněna i suspendovaná hmota. Ke srážení se užívá solí hliníku a železa a jejich různých kombinací. Účinek operace samozřejmě závisí na pH (se zvyšováním pH se rozpustnost sloučenin fosforu snižuje). [28]

Nejjednodušším způsobem je použití hydroxidu vápenatého, vedle toho je často doporučováno odstranění fosforu ve formě struvitu. Vápenaté ionty sráží fosfor ve formě hydroxylapatitu při $\text{pH} > 10,5$. Vápno zajišťuje dosažení potřebného pH po srážení. Sráženy jsou též polyfosfáty. Potřebné množství Ca(OH)_2 nezávisí ani tak na obsahu P, ale zejména na obsahu uhličitů a alkalitě vody. [28]

Struvit je bílá krystalická (ortorombická) látka tvořená Mg, NH_4^+ a P. Je výhodnou formou pro odstraňování nejen fosforu z odpadních vod, ale zejména je jedinou prakticky využitelnou formou srážení amonných solí. Struvit je využitelný jako výborné hnojivo. Přírodním zdrojem může být guáno či kravský hnůj. Srážení struvitu je ovlivňováno pH, přesycením, teplotou a přítomností nečistot. [28]

Biologické odstraňování fosforu spočívá ve schopnosti akumulace (zvýšení obsahu) P (ve formě polyfosfátů) v některých mikroorganismech. Toho se dosáhne zavedením „přepínání“ prostředí mikroorganismů mezi aerobním a anaerobním režimem, tedy zvláštní kultivací.

Anaerobní zóna musí předcházet aerobnímu aerovanému stupni. Za anaerobních podmínek vznikají činností fermentativních bakterií z organických látek přítomných v odpadní vodě mastné kyseliny, zejména kyselina octová. Tyto vzniklé mastné kyseliny jsou využívány jako substrát bakteriemi schopnými akumulovat polyfosfáty. Ortofosfáty vznikající při hydrolýze a jsou vylučovány do okolní kapaliny. Když mikroorganismy vstoupí do aerobní zóny, znovu ukládají fosfor ve formě energeticky bohatých polyfosfátů. Za přítomnosti kyslíku jsou totiž buňky schopny oxidovat kyselinu poly-beta-hydroxymáseľnou vyšší rychlostí než ostatní rezervní látky, a ta proto slouží jako zdroj uhlíku pro syntézu buněčné hmoty bakterií. [28]

Léčiva

Většina farmaceutických látek jsou svou povahou biologicky aktivní a hydrofilní, aby je lidské tělo vstřebalo a aby bylo zabráněno degradaci. Když vstoupí do odpadní vody, nejsou obvykle úplně mineralizované. Jsou buď částečně zachovány v kalu, nebo metabolizovány na více hydrofilní, ale stále jsou v trvalé formě, tak projdou čistírnou odpadních vod a končí v recipientu. Jejich odstraňování na ČOV je variabilní a závisí na vlastnostech látek a na procesích (např. retenční čas kalu (SRT), hydraulický retenční čas (HRT) nebo teplota). Koncentrace mnoha farmaceutických látek jsou tak nízké, že se většinou

na ČOV ani nedetekují. I v těchto nízkých koncentracích ničí životní prostředí a mají nepříznivý vliv na vodní organismy. [13]

Aby bylo zajištěno dodržování přísných požadavků na vypouštění odpadních vod, provádí se modernizace stávajících čistíren odpadních vod a zavádění nových technologických procesů. V posledních deseti až patnácti letech je o používání membrán v odpadní rekultivaci velký zájem. Membránová technologie se stala technicky i ekonomicky schůdná alternativa pro čištění odpadních vod, a to zejména z důvodu vysoké SRT dosažené v kompaktních objemech reaktorů. Další výhodou je separace plavenin membránami, takže nejsou omezeny usazovací vlastnosti kalu. [13]

Membránový bioreaktor (MBR) je z přibližně 21 l aktivního objemu a je vybaven dvěma plochými membránami (velikost A4, velikost pórů 0,4 μm). I když je nominální poréznost membrány 0,4 μm , znečišťující vrstva proteinů a mikroorganismů na povrchu membrán snižuje efektivní pórovitost do 0,01 μm , což přenesle typ filtrace do rozsahu ultrafiltrace. [13]

MBR je provozován paralelně s procesem CAS (aktivační a dosazovací nádrž). Biocenózy z MBR se pěstují z naočkovaných kalů z komunálních ČOV a jsou kultivovány po dobu přibližně jednoho měsíce do dosažených ustálených podmínek. Přítok i odtok je kontrolován a regulován pomocí měřiče průtoků a počítačem řízených čerpadel. Kontinuální provzdušňování se provádí pomocí rozptylovací trubky, která se nachází v dolní části reakční nádoby. Koncentrace kyslíku se udržuje mezi 1 až 2 mg/l a teplota uvnitř reaktoru je cca 20°C po celou dobu. [13]



Obrázek 3.4 - MBR nádrž [13]

Těžké kovy

Největší koncentrace těžkých kovů v odpadních vodách najdeme ve vodách průmyslových. Výroba plošných spojů, galvanické a povrchové úpravy kovů produkují

značné množství odpadních vod, které obsahují vysoké koncentrace těžkých kovů, a to zejména kadmium, chrom, měď, nikl, arsen, olovo a zinek. Jiným zdrojem těžkých kovů je dřevozpracující průmysl, kde z ošetření dřeva vzniká odpad arsenu z ošetření dřeva, pigment, který obsahuje sloučeniny chromu a kadmium, chrom, niklem znečištěné katalyzátory z rafinace ropy atd. Všechny tyto výrobní procesy produkují velké množství odpadních vod, zbytků a kalů, které se řadí do kategorie nebezpečné a které je potřeba rozsáhle čistit. [16]

Vzhledem k jejich vysoké rozpustnosti ve vodě, mohou být těžké kovy absorbovány živými organismy a jakmile se dostanou do potravinového řetězce, mohou se začít hromadit v lidském těle. Pokud se do těla dostanou ve větší koncentraci než je povoleno, mohou způsobit vážné zdravotní problémy, včetně snížení růstu vývoje, rakoviny, poškození orgánů, nervové poškození systému a v extrémních případech i smrt. Při vysokých koncentracích mohou dokonce způsobit poškození mozku. Z tohoto důvodu, je třeba je odstranit z odpadních vod před tím, než se vypustí do okolního prostředí. K tomu slouží limity koncentrací těžkých kovů v odpadních vodách, které se smějí vypouštět do kanalizační sítě.[16]

Tabulka 3.2 Limity koncentrací pro těžké kovy [16]

Kov	Projevy na lidský organismus	limit [mg/l]
Arsen	kožní projevy, viscerální nádory, cévní onemocnění	0,050
Kadmium	poškození ledvin, lidský karcinogen, renální poruchy	0,010
Chrom	bolest hlavy, průjem, nevolnost, kacinogenní	0,050
Měď	poškození jater, Wilsonova choroba, nespavost	0,250
Nikl	nevolnost, chronické astma, karcinogen	0,200
Zinek	deprese, letargie, poškození mozku	0,800
Olovo	onemocnění ledvin, oběhový a nervový systém	0,006
Rtuť	onemocnění ledvin, artritida	0,00003

Jejich odstranění z odpadních vod lze dosáhnout různými procesy, jako je chemické srážení, iontové výměny, flotace, adsorpce, a elektrochemické odstraňování. K nejrozšířenějším úpravám patří chemické srážení. Jako nejčastější srážedla se používají vápno a vápenec a to hlavně díky jejich dostupnosti a nízkým investičním nákladům. Srážení vápnem může být použito i ve vysokých koncentracích, více než 1000 mg/l. Jeho další výhodou je jednoduchost postupu, nízké provozní náklady a bezpečný provoz. Nevýhodou je velké množství chemikálií na vysrážení, nadměrná produkce kalu, pomalé srážení kovu a dlouhodobé dopady na životní prostředí z likvidace kalu. [16]

Rtuť

Rtuť je nejvíce používána v zařízeních na měření teploty nebo na výrobu zářivek. Jiné využití rtuti je při výrobě řady průmyslových chemikálií. Elementární rtuť je důležitá přísada

pro zubní amalgámy. Příkladem je Thiomersal, organická sloučenina používaná ve vakcínách jako konzervační látka nebo Merbromin, topický antiseptický přípravek na menší škrábance. Hlavní použití rtuti je ve formě rtuťové buňky (Castner-Kellnerův proces). Občas se kapalná rtuť používala jako hnací médium pro jadernou energii reaktorů. Nyní se nahrazuje sodíkem kvůli vysoké hustotě rtuti. [29]

Hlavní zdroje rtuti v odpadních vodách pocházejí z průmyslu a jsou hrozbou pro vodní život i pro pitnou vodu. Jedním z přírodních zdrojů rtuti jsou sopky, které produkují téměř polovinu emisí rtuti v atmosféře. Druhá polovina emise je generována lidmi různými prostředky, včetně spalování, výroby zlata, výroby v odvětví kovů, při výrobě cementu, při likvidaci odpadů včetně komunálního odpadu a při výrobě hydroxidu sodného. [29]

Obsah rtuti ve vodách je velmi nebezpečný pro lidský organismus. Rtuť může být toxická ve formě organických i anorganických sloučenin. Může způsobovat chronickou i akutní otravu. Řeky a jezera v blízkém okolí průmyslu mohou obsahovat výpustky rtuti, což může mít fatální důsledky pro lidský život i život ve vodě. Tyto malé koncentrace se mohou hromadit v žaludku a zůstat nestravitelné, což má za následek vznik nádorových onemocnění. Dlouhodobé působení rtuti by mohlo způsobit vážné poškození nervové soustavy, mozku, ledvin, podráždění plic, podráždění očí, kožní vyrážky, zvracení aj. [29]

Odstranit rtuť lze pomocí adsorpce. Při tomto procesu se absorbují kontaminované molekuly plynu přes povrch aktivního uhlí. Aktivace je prováděna řízeným oxidačním procesem při vysoké teplotě. Účinnost adsorpce závisí na charakteristice kontaminující látky a teplotě. [29]

Další odstranění rtuti se provádí pomocí bio filmu. Biofilm se sestává ze složité struktury mikroorganismů, které rostou na pevném substrátu. Nejdůležitější u těchto biofilmů je šetrnost provozu k životnímu prostředí a regenerace za použití nejnovějších technik. Tyto biofilmy poskytují skvělé podmínky pro adsorpci rtuti a v blízké budoucnosti by mohly být hlavní technologií pro získávání rtuti. [29]

Rtuť lze odstranit i chemickým srážením, a to pomocí HgSO_4 , který je výsledkem chemické reakce rtuti s kyselinou sírovou. Tento proces začíná koncentrovanou kyselinou H_2SO_4 (80%) při teplotě nižší než 50°C . Druhá fáze se provádí v konvenční věži pracující s 93% H_2SO_4 . Později se pomocí reakce rtuti s kyselinou vytvoří sulfid měďnatý, který se separuje. Není to moc používaná metoda, vzhledem k náročnosti procesu a nákladům na chemikálie. [29]

Olovo

Nejčastějším zdrojem olova v odpadních vodách jsou vody z průmyslu, hlavně z továren, kde se pracuje s plošnými spoji, zařízením pro montáž elektroniky, zařízením na recyklaci baterií a z výluhu skládek. U plošných spojů je největším zdrojem olova pájení a leptání. U baterií se

olovo nachází v kyselině sírové, která je uvnitř baterie. Ve výluhu skládky lze olovo nalézt jako tetraethyl-olovo, organokov. [30]

Odstranění olova z vody může být použitím koagulace, pískové filtrace a výměny iontů. Navíc lze použít aktivního uhlíku, filtraci médií a reverzní osmózu. Vzhledem k tomu, že hydroxid olova je mírně rozpustný, nelze jej upravovat úpravou pH na regulované koncentrace. Často se zpracovává srážením sulfidu olova nebo fosfátu s použitím dvoustupňového procesu. Může být také ošetřen redukcí nebo iontovou výměnou. Při použití výměny iontů je obtížné odstranit olovo z pryskyřice regenerací, vyžadující odstranění vyhořelé pryskyřice. [30]

Organokovové látky jsou obzvláště obtížně zpracovatelné, protože olovo není vhodné pro tvorbu sraženiny. Organická sloučenina musí být buď oxidována, aby uvolnila olovo, nebo může být adsorbována na uhlík za účelem odstranění olova jako organického komplexu. V každém případě je to obtížné a nemusí být účinné. [30]

Olovo se z odpadních vod odstraňuje použitím emulzní tekuté membránové techniky. Odpadní voda z průmyslových zásobníků má počáteční koncentraci olova 4,2 ppm (průměr) a hodnotu pH 1,4. Emulzní kapalná membrána sestává z kerosinu a minerálního oleje jako organických rozpouštědel, sorbitanmonooleátu (Span 80) jako povrchově aktivního činidla, di-2-ethylhexylfosforečné kyseliny (D2EHPA) jako nosiče nebo extrakčního činidla a kyseliny sírové (H_2SO_4) jako stripujícího činidla. Systém, který nastaví pH na hodnotu 4,0, zaručí maximální odebrání olova během prvních 5 minut a sníží zákal. [30]

Další metodou odstraňování olova z odpadní vody je s použitím polymethakrylátu Cu (II) vytvořeného radiací Gama. Při této práci se polymethakrylát Cu (II) získává gama ozářením odpovídajícího monomeru. Polymer je smíchán s vodnými roztoky Pb (II) pro odstranění této znečišťující látky z kapalné fáze. Odstranění Pb (II) probíhá pomocí adsorpčního mechanismu typu Langmuir, který byl zjištěn jako funkce doby kontaktu mezi polymerem a roztokem. Díky této metodě je dosaženo 60% snížení koncentrace olova v kapalině. [30]

Fosfáty

Fosfor, který se vyskytuje v průmyslových a komunálních odpadních vodách, je téměř vždy ve formě fosfátu. Fosfáty jsou nezbytné pro rostliny a zvířata, ale příliš velké množství přispívá k eutrofizaci a zanešení našich řek a jezer, což umožňuje řasám růst tak hojně, že umírají kvůli nedostatku světla. K rozkladu řas se využívá rozpuštěný kyslík ve vodě, což vede k jeho úbytku ve vodě a následnému úhynu ryb a jiného vodního života. [31]

Existuje mnoho zdrojů fosfátů v průmyslových a spotřebních výrobcích, protože jsou dobrými čisticími prostředky a mazivy. Fosfor v detergentech na mytí a mytí nádobí byl omezen regulací v mnoha státech, maximálně o 0,5%, oproti předchozím limitům o 8,7%. Větší problém je přítomností fosfátů v moči, protože moč má přibližně 60% fosfátů v odpadních vodách v domácnostech - jaké je pak procento v továrnách nebo kancelářských budovách se

stovkami pracovníků? V horkém počasí se situace zhoršuje kvůli spotřebě nealkoholických nápojů. Typické nealkoholické nápoje mají přibližně stejný obsah fosforu - 0,5% - jako prací prostředky. Dalším velkým problémem jsou fosfáty z hnojiv a moči zvířat v zemědělství. Bohužel pro životní prostředí jsou průmyslové čističe a některé menší čističky odpadních vod osvobozeny od limitu na fosfáty a nezabývají se jejich odbouráváním z odpadní vody. [31]

Odstranění fosforu z odpadní vody zahrnuje srážení fosfátu a následné odstranění pevných látek. Fosfor může být začleněn do biologických pevných látek (např. Mikroorganismů) nebo do chemických precipitátů. Chemické srážení se používá k odstranění anorganických forem fosfátu přidáním koagulantu a míchání odpadní vody a koagulantu. Nejvíce používanými ionty vícemocných kovů jsou vápník, hliník a železo. [32]

Vápník se obvykle přidává ve formě vápence Ca(OH)_2 . Reaguje s přirozenou zásadou v odpadní vodě za účelem výroby uhličitanu vápenatého. Vzhledem k tomu, že hodnota pH odpadní vody vzroste nad hodnotu 10, přebytečné ionty vápníku potom reagují s fosforečnanem, aby se vysrážely v hydroxylapatitu. [32]

3.4 CELULÓZA

Celulóza je látka, která tvoří většinu buněčných stěn rostlin. Vzhledem k tomu, že je obsažena téměř ve všech rostlinách, je to patrně nejrozšířenější látka na Zemi. Kromě toho, že je primární stavební materiál pro rostliny, má mnoho dalších využití. Podle toho, jak je upravena, může být celulóza použita k výrobě papíru, filmu, výbušnin, plastů atd. U lidí je celulóza také důležitým zdrojem vlákniny v naší stravě. [17]

Z chemického a biologického hlediska je celulóza popsána jako komplexní sacharid. Sacharidy jsou organické sloučeniny složené z uhlíku, vodíku a kyslíku a slouží jako zdroje energie pro žijící organismy. Rostliny jsou schopny vyrábět vlastní sacharidy, které využívají k energii a ke stavbě buněčných stěn. Celulóza je ideální jako strukturní materiál, protože její vlákna poskytují rostlinám pevnost a houževnatost listům, kořenům a stonkům. [17]

Jako hlavní složka buněčných stěn rostlin má celulóza strukturní nebo skeletální funkci. Stejně jako naše tvrdé kosti kostry poskytují oporu pro naše svaly a podporují naše tělo, tak pevnou oporu u rostliny způsobuje síla jejích buněčných stěn. Buněčná stěna je přirovnávána ke způsobu, jakým se vyrábí železobeton, přičemž celulózová vlákna působí jako výztuže nebo ocelové tyče v betonu (poskytující mimořádnou pevnost). [17]

Navzdory skutečnosti, že lidé (a mnoho dalších zvířat) nemohou trávit celulózu (což znamená, že je jejich trávicí systém ji nedokáže rozložit do svých základních složek), je celulóza velmi důležitou součástí zdravé lidské stravy. To proto, že tvoří hlavní část vlákniny, o které víme, že je důležitá pro správné trávení. Vzhledem k tomu, že celulózu nedokážeme rozbít a prochází v podstatě beze změn, funguje jako hrubý materiál, který napomáhá pohybu našich střev. [17]

Ze savců mohou zpracovávat celulózu pouze ti, kteří jsou přežvýkavci (zvířata, jako jsou krávy a koně) a hlemýžď zahradní. Je to proto, že mají ve svých trávicích traktech zvláštní bakterie a mikroorganismy. Poté jsou schopni absorbovat rozloženou celulózu a využít z ní cukr jako zdroj potravy. Houby jsou také schopny rozložit celulózu na cukr, který mohou absorbovat, a hrají hlavní roli při rozkladu (hnilobě) dřeva a jiného rostlinného materiálu.

3.4.1 Výroba celulózy

Celulóza je jednou z nejrozšířenějších přírodních látek a stala se jednou z nejdůležitějších komerčních surovin. Hlavními zdroji celulózy jsou rostlinná vlákna (bavlna, konopí, len a juta jsou téměř celá) a samozřejmě dřevo (asi 42 procent celulózy). Vzhledem k tomu, že celulóza je nerozpustná ve vodě, je snadno oddělitelná od ostatních složek rostliny. [17]

Surová bavlna je 91 procent celulózy a její vláknité buňky se nacházejí na povrchu bavlníkových semen a na každém semenu jsou tisíce vláken. Tyto vláknité buňky jsou kroucené, aby vytvořily nit nebo přízi, která se tká a dále slouží k výrobě textilu. [17]

Protože celulóza snadno reaguje na silné báze a kyseliny, chemický proces se často používá k výrobě jiných produktů. Například tkanina, známá jako umělý hedvábný materiál, a průhledná fólie z filmu, zvaná celofán, jsou vyráběny s použitím víceetapového procesu, který zahrnuje kyselé lázně. Ve směsích, kde je kyselina dusičná a kyselina sírová, celulóza může tvořit to, co se nazývá guncotton nebo dusičnany celulózy, které se používají pro výrobu výbušnin. [17]

Když se smíchá s kafrem, celulóza produkuje plast známý jako celuloid, který byl používán pro film v raném filmu. Nicméně, vzhledem k jeho hořlavosti, byl nakonec nahrazen novějšími a stabilnějšími plastovými materiály. Ačkoli celulóza je stále důležitým přírodním zdrojem, mnohé z produktů, pro které byla dříve hlavní surovinou, se nyní vyrábějí snadněji a levněji pomocí jiných materiálů. [17]

Mechanická celulóza

Vlákna jsou získávána mechanickou cestou (kmeny jsou rozemílány za současného přidávání vody). Výsledný papír se označuje jako dřevitý. Zefektivnění lze dosáhnout působením vyššího tlaku, teploty a chemikálií. Výhody jsou ve vynikající výtěžnosti (více než 90% dřeva) a vynikající tiskové vlastnosti. [26]

Nevýhodou je nízká pevnost a nažloutlost papíru, což je způsobeno vysokým množstvím nežádoucího ligninu. Takovýto papír se používá na noviny, periodika, prodejní katalogy a na všeobecné výrobky, kde není požadována dlouhá životnost.[26]

Chemická celulóza

Vlákna jsou získávána chemickou cestou (štěpky jsou vařené ve velkých kotlích s příslušnými chemikáliemi, kde se rozpustí lignin a vlákna se tak uvolní. Podle použitých chemikálií můžeme postup rozdělit na sulfitový (kyselé chemikálie - nižší pevnost papíru) a sulfátový

(zásadité chemikálie - vyšší pevnost papíru). Dřevěná vlákna se po tomto rozpouštění nepoškozuji. Takto vzniklý papír je nazýván jako bezdřevný. [26]

Celulóza sulfátová má velmi dobrou pevnost, dobrou potiskovatelnost a je energeticky více než soběstačná. Nevýhodou je obtížnější bělení, než u sulfitové celulózy a nižší výnos oproti mechanické celulóze. V dnešní době je nejčastěji používána, protože je šetrnější k životnímu prostředí. [26]

Celulóza sulfitová má sice jednoduchý způsob bělení ale nižší pevnost, nižší výnos oproti mechanické celulóze a znečišťuje vodní toky. [26]

3.4.2 Získávání celulózy z odpadních vod

ČOV Ulrum, Nizozemsko

V Nizozemsku se za jednu minutu vyplaví do kanalizace 420 000 litrů odpadní vody a během stejné doby tu spotřebují 1 330 rolí toaletního papíru, což je 700 milionů rolí za rok. Na osobu je to přibližně 10 až 14 kilogramů toaletního papíru, na což je spotřebováno 12 900 stromů. Právě tyto informace vedly k vyvinutí technologie CADoS, která je schopná využít 105 milionů kilogramů sušiny celulózy za rok.

Během Aquatechu v roce 2015 vyvinula holandská technologická společnost Brightworktechnologie k regeneraci celulózy z odpadních vod. Projekt odvodňování kalů (CADoS) je zaměřen na separaci celulózových vláken z toaletního papíru z odpadních vod technologií finescreening. Tato technologie byla na zkoušku umístěna na ČOV Ulrum v Nizozemsku.[18]



Obrázek 3.5 – ČOV Ulrum, Nizozemsko [20]

Odvodnění kalus pomocí celulózy (CADOs) je založeno na získávání celulózových vláken ze surové komunální odpadní vody. To je zásadní nový způsob recyklačního myšlení s globálním potenciálem. Celulózová vlákna z toaletního papíru jsou oddělené od odpadní vody v čistírně odpadních vod. Výhody jsou hned zřejmé. Tato metoda je velmi jednoduchá, spotřeba chemikálií je minimalizována, nižší spotřeba elektřiny pro provzdušňování, menší pravděpodobnost uvolnění fosfátu a nižší objemy kalu, což vede ke snížení dopravních pohybů a následných nákladů. [19]

Princip CADOs je aplikován v prototypovém zařízení v plném rozsahu na ČOVUlrum v Nizozemsku. Kromě provozních výhod je výhoda získávání tzv. celulózového kalu, což je cenný produkt pro další zpracování. Zpočátku pro výroby bioplynu, ale v pozdější fázi jako surovina pro bioplasty. Tento koncept lze použít v malých i velkých čistírnách odpadních vod. CADOs je společný podnik šesti nizozemských stran: Brightwork, WaterboardNoorderzijlvest, WetterskipFryslân, Univerzita v Groningenu, Attero a Centrum odborné vodohospodářské techniky. Projekt získal ocenění WaterInnovationAward 2014. [19]

Technologie CADOs byla vyvíjena v úzké spolupráci s příslušnými odvětvími, výzkumnými ústavy a nizozemskými orgány Noorderzijlvest a WetterskipFryslân. Výsledkem je tvrzení, že biologická úprava CADOs, instalovaná na ČOV Ulrum, funguje. Je unikátní ve světě a její jednoduchost vede k významnému objevu v čištění odpadních vod.

Výhodou technologie je, že biologický kal se okamžitě zbaví vody, což zamezí uvolňování fosfátů z kalu. Kromě toho, odvodnění biologického kalu je lepší, než zahuštěného

přebytečného kalu. Další výhodou je, že oddělená vlákna se separují a neputují dále do biologického stupně, čímž se ušetří energie na provzdušňování. [19]

Technologie spočívá ve vytvoření filtračního koláče na rotujícím pásu jemných česlí, což podporuje separaci menších částic, než je typická velikost ok síta. Na horní části filtračního pásu dochází k zahušťování a poté filtrační koláč klesá do odvodňovacího lisu. V závislosti na složení přítoku shrabky obsahují 60 až 80% vláken celulózy. [19]

Biologický stupeň produkuje přebytečný aktivovaný kal, který je extrahován z proudu zpětného kalu a poté zahuštěn konvenčním způsobem. Princip CADoS je založen na stažení kalu přímo z aktivační nádrže a přidává se k přítoku do filtračního koláče. Kal se současně zahušťuje a přivádí na odvodňovací lis, na kterém je odvodněn alespoň na 30% sušiny. Rozhodující pro vhodný odvodňovací proces je poměr sušiny celulózy a sušiny v odvodněném kalu. To ovlivní odvodnění a také procento konečné sušiny ve směsi. Laboratorní testy ukázaly, že potřebný poměr sušiny celulózy a sušiny odvodněného kalu 0,3:1, je proveditelný. Odvodněná směs kalu a buničiny je přepravena do kontejneru a pravidelně přepravován nákladním automobilem do posledního bodu procesu, kde je z ní vyráběn bioplyn. [19]



Obrázek 3.6 – Odvodněná směs kalu a buničiny [20]

Výhody CADoS:

- Odvodněný kal obsahuje vyšší obsah organické hmoty, ze které se vyrobí více bioplynu
- Odstranění organického materiálu před biologickým stupněm
- Snížení energie potřebné na provzdušnění až o 15%

- Snížení objemu přebytečného kalu a tedy snížení počtu přeprav pro likvidaci kalu (u ČOV, kde byl tento systém nainstalován, snížení počtu ujetých kilometrů o 75%)
- Výroba zelené energie a biomateriálů (celulóza, bioplasty, fosfáty)
- Proces zpracování kalů výrazně zjednodušen – může být odstraněno několik kroků[19]

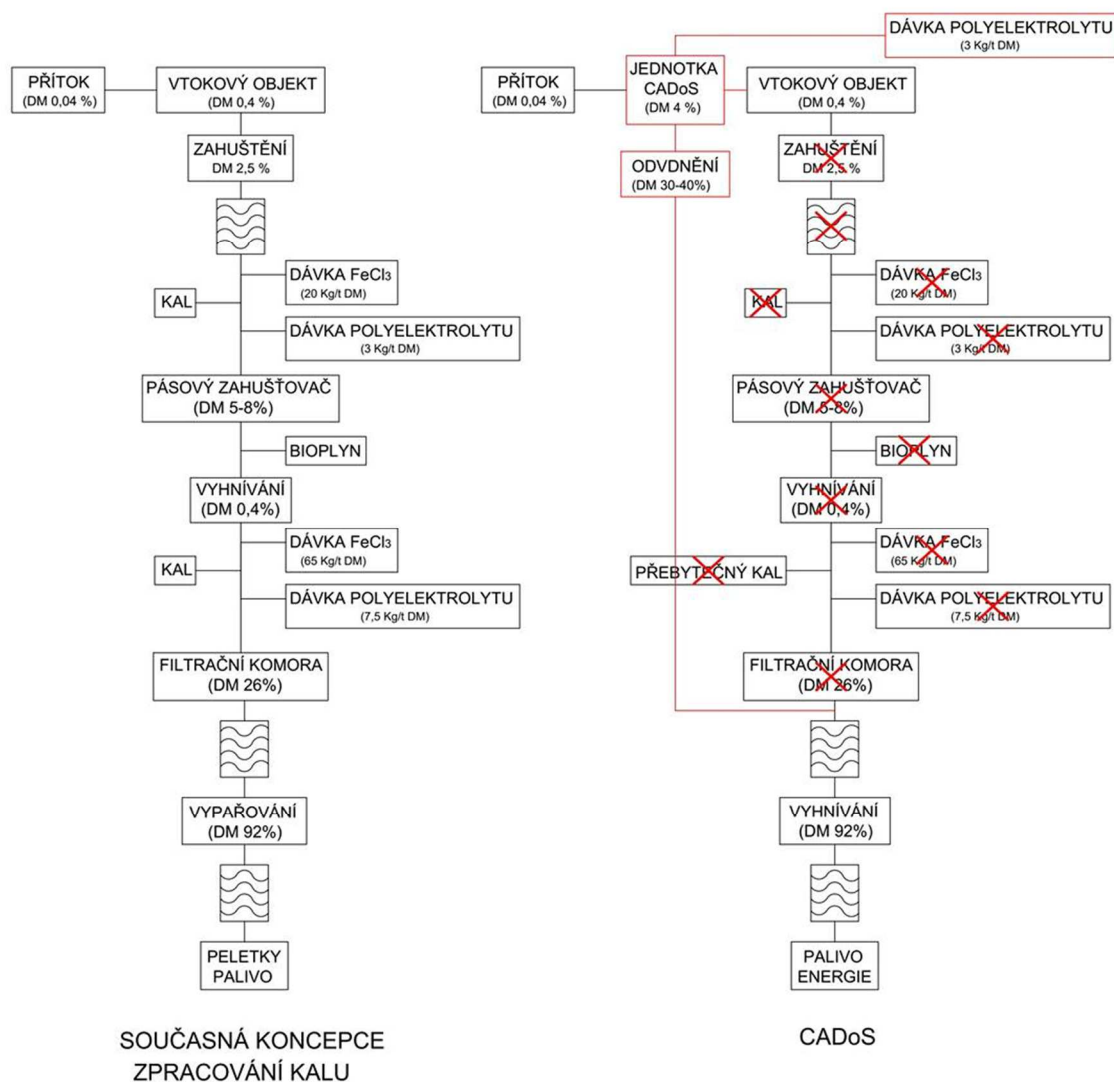


Obrázek 3.7 - Pilotní jednotka CADoS, ČOV Ulrum, Nizozemsko [18]

Získané vlákno celulózy se dá dále využívat například na výrobu bioplastů. Jakmile je celulóza odstraněna z odpadních vod, mohou být vlákna přepravována do zařízení, kde se dále zpracovávají jako celulózový kal. Příkladem tohoto procesu je instalace finescreen na ČOV.[19]

Koncept CADoS je určený především pro čistírny do 80 000 EO. Tyto menší ČOV jsou většinou umístěny ve vnější oblasti, což vyžaduje delší dopravní trasy. Tato koncepce vede ke snížení najetých kilometrů, což ušetří náklady na převoz, dopravní komunikace a sníží emise. Znovuzískáváním celulózy z odpadních vod touto metodou se značně snižuje objem produkovaného odpadu. Rovněž se tím zjednodušuje zpracování čistírenských kalů. Díky této technologii a následné výrobě bioplynu může jezdit o 360 vozů více nebo být vytopeno 41 500 domácností. Ze získané energie může být ročně dodána elektřina do 54 700

domů nebo ohříváno odpadním teplem 27 200 domů. CADoS nabízí zjednodušené a úsporné řešení pro odvodnění kalů z odpadních vod. [19]



Obrázek 3.8 Schéma porovnání kalového hospodářství

ČOV Geestmerambacht, Nizozemsko

V posledních letech je věnována velká pozornost tomu, jak lze znovu použít toaletní papír jako čistou a bezpečnou surovinu. Přidávání obnovené celulózy do asfaltu, který se použil na cyklistické tratě ve Frísku, bylo prvním krokem k prokázání toho, že lze vyrobit čistý obchodovatelný produkt. Společnost Bwa proto nainstalovala na ploše Geestmerambacht technologii, která bude produkovat denně cca. 400 kg čisté regenerované celulózy. [22]

Při prosévání odpadních vod na začátku čistírny odpadních vod se odstraní značné množství suspendovaných pevných látek, čímž se značně ušetří energie, která je nezbytná pro biologické procesy v aktivační nádrži. Kromě těchto úspor energie existují další výhody, jako například: Nižší produkce biologických kalů, nižší spotřeba polymerů pro odvodnění a méně údržby. Úspory energie mohou činit 15-20% pro provzdušňování a také úspory při použití polyelektrolytu mohou být až 20%. [22]

Materiál, který se na začátku čištění izoluje pomocí finálních buněk CellCap z BWA, se nazývá celulózní projekce. Tento materiál se skládá ze 70 až 80% celulózy (hlavní složka toaletního papíru), dále však z vlasů, tuku, písku a dalších složek. Celulóza je zajímavým produktem pro opětovné použití v mnoha výrobcích, ale další složky v celulózových projektech často ztěžují opětovné použití v dalších procesech. [22]

V posledních letech byly v několika čistírnách odpadních vod provedeny instalace CellCap. Zpočátku se jedná hlavně o projekty s výzkumným nebo demonstračním charakterem a malé čistírny, ale později se instalovaly i do ve velkých čistíren odpadních vod. Po spuštění zařízení na čistírnách odpadních vod v lokalitách Beemster a Aarle-Rixtel začaly fungovat první velké čističky odpadních vod s použitím sítí CellCap a v hojné míře byly k dispozici dostupné projekční plány, obsahující opakovaně použitelné buničiny. Rozhodnutí společnosti WaterboardsHollandsNoorderkwartier a společnosti Aa&Maas o uplatňování této technologie značně přispělo k obnově celulózy z domácích odpadních vod. [22]

S cílem podpořit rozsáhlou obnovu celulózy z odpadních vod a vyvinout strukturální výstup musí společnost BWA postavit zařízení na ČOV Geestmerambacht, která bude produkovat přibližně 400 kg čisté celulózy denně. Část této celulózy bude vyvážena a použita jako surovina pro bio-kompozit. Zbývající celulóza je k dispozici pro vývoj dalších produktů a rozvíjí probíhající iniciativy. Pro WaterboardHollandsNoorderkwartier je realizace závodu CellVation na ČOV Geestmerambacht projekt, který dokonale zapadá do ambicí na obnovu zdrojů z odpadních vod a je logickým krokem po realizaci systému CellCap na ČOV Beemster. [22]

Realizace zařízení CellVationGeestmerambacht je součástí inovačního projektu Horizon 2020 "SMART Plant". Tento projekt, ve kterém společnost BWA spolupracuje s 24 partnery z různých evropských zemí, má za cíl prokázat proveditelnost kruhového řízení městských odpadních vod a environmentální udržitelnosti systémů.



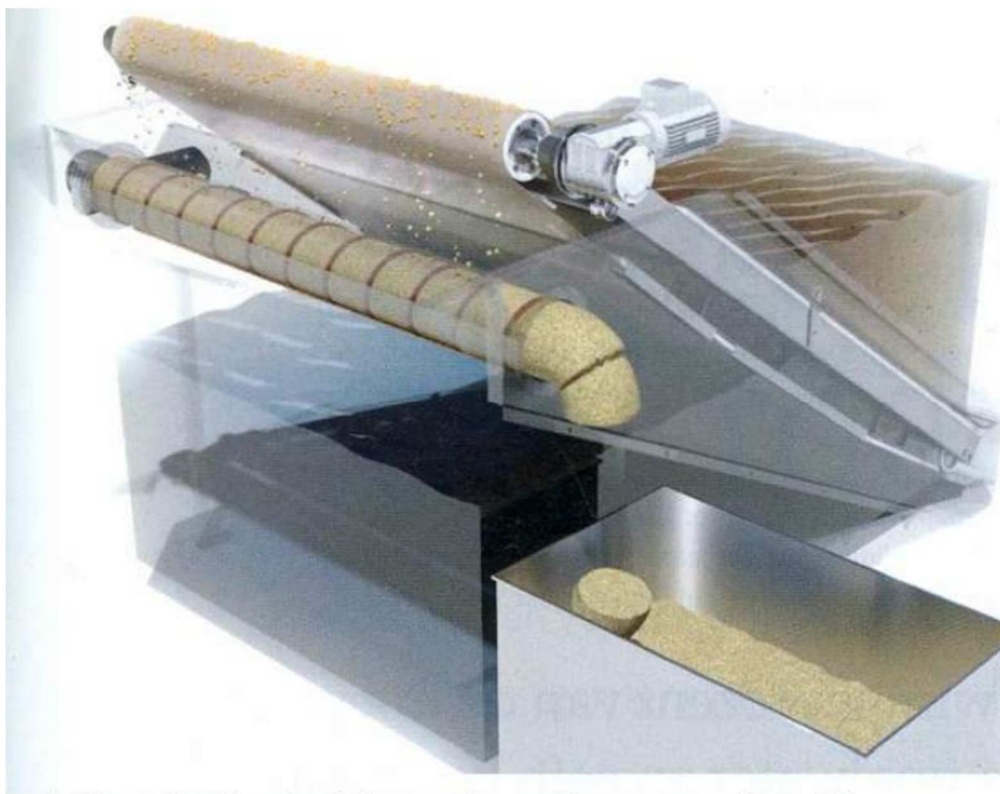
Obrázek 3.9 Celulózní projekce CellCap[21]

ČOV Beemster, Nizozemsko

Odpadní voda, která vstupuje do čistírny odpadních vod (ČOV), obsahuje mnoho složek, včetně moči a výkalů. Díky nové aplikaci Cellu2PLA s velmi jemnými oky tkaniny můžeme z odpadní vody filtrovat velké množství pevných látek. Přibližně 70% z toho je toaletní papír. [24]

V čistírnách odpadních vod hrají mikroorganismy důležitou roli, mimo jiné jsou to hlavně bakterie, prvoci a vířníci. Ke svému životu potřebují hlavně kyslík, který je jim dodáván aerací. To ovšem vyžaduje hodně energie, stejně jako pozdější odvodnění kalu. Bylo zjištěno, že 20% plovoucích nečistot v odpadní vodě jsou celulózová vlákna. Jejich odstraněním, pomocí technologie Cellu2PLA, se z odpadních vod odstraní i jiná vlákna (například textilií), což nejen že chrání další zařízení na čistírně, ale i velmi snižuje potřebu energie při aeraci. [23]

Nové čistírny tedy mohou ušetřit značnou sumu na nákladech. Ale také pro stávající čistírny může být tento systém užitečný. Mohou získávaná vlákna prodat, nechat je kvasit (vznik bioplynu) nebo spalovat. [23]



Obrázek 3.10 Proces oddělení celulóзовých vláken [23]

Aby bylo možné použít celulóзовá vlákna, musí projít procesem čištění a hygienizace. Tento proces není nijak složitý a je přítomen téměř ve všech nových technologiích na zpracování celulóзовých vláken, kde se z nich vyrábějí na příklad kartony, krabice na pizzu nebo nový toaletní papír. V současné době se často přidávají čerstvé vlákna celulózy do asfaltové vrstvy, aby se zabránilo usazování a klesání. [23]



**Obrázek 3.11 Asfaltová vrstva s
vlákny celulózy [23]**

Partneři projektu, včetně společnosti Attero a University of Groningen, chtějí zahrnout do technologie zpracování i těkavé mastné kyseliny. Dělají to pomocí zvláštního kvašení, kde jsou mastné kyseliny zdrojem potravy pro bakterie, které produkují PLA: PolyLacticAcid (kyselina polymléčná), ze které se později vyrobí Bioplast. Přeměna celulózy na kyselinu polymléčnou (PLA) je to, co Cellu2PLA představuje. PLA je bioplast, který může nahradit mnoho plastů na bázi ropy. Je biologicky odbouratelný a vyrobený z obnovitelných zdrojů. To je dobré pro životní prostředí. Obvykle je PLA vyroben z celulózy z cukrové třtiny nebo kukuřice, ale s těmito zdroji se mísí v potravinovém řetězci. Pro Cellu2PLA byl nalezen tento zdroj: celulóza z toaletního papíru v komunálních odpadních vodách. Díky tomu už existují plány na biologicky rozložitelné květináče, obalový materiál, kelímky, přístroje atd. [23]

Bob de Farmer (WaterBoardHollandsNoorderkwartier, vedoucí projektu) spočítal, že pokud by všechny čistírny odpadních vod v Nizozemsku používali technologie na získávání celulózy z odpadních vod, bylo by dost bioplastů na výrobu odpadkových pytlů na celé tři roky. [23]

ČOV Aarle-Rixtel

Během měsíce dubna v roce 2014 byl na čistírnu v Aarle-Rixtel instalován systém pro recyklaci odpadních vod (SRS) pro 272 000 EO. Měl zaručit snížení kalu o 30 až 50 %, množství získané celulózy až 1 tunu za den při 25% DM a celkové snížení nákladů ČOV o 15-30%. Všechny tyto parametry byly úspěšně splněny. Kromě přínosů pro proces čištění odpadních vod, jsou vedlejším produktem právě vlákna celulózy. Produkce vláken je plánována na 5 074 kg za den. Extrapolace výsledků na plný rozsah ČOV ukazuje, že SRS bude vést k 12% snížení zátěže (ekvivalenty znečištění) biologického stupně, což z něj dělá atraktivní technologii pro předpokládané zvýšení množství odpadu na ČOV. Během zkušebního provozu nebyl pozorován žádný dopad (pozitivní ani negativní) na proces ČOV. [25]

Inovativní systém recyklace odpadních vod ACT (SRS) je založen na průlomovém řešení technologie, instalované v předběžné úpravě cyklu úpravy vody. Recykluje tuhé látky z odpadních vod před vstupem na biologický stupeň čistírny odpadních vod, což snižuje celkové provozní náklady až o 30%. Patentovaná technologie společnosti ACT zachycuje složky celulózy a dále je zpracovává. Výsledkem je čistý, pasterizovaný produkt, který je šetrný k životnímu prostředí - Recyllose (recyklovaná celulóza). Ten je vhodný pro další použití na plasty, izolaci, výrobu papíru, stavebnictví, výroby biopaliv a i v dalších průmyslových odvětvích. [25]

Stručný popis toho, jak pracuje systém:

1. Surová odpadní voda projde mechanickým čištěním (hrubé a jemné česle, lapák štěrků a písku) a je čerpána do SRS. Čerpané odpadní vody procházejí primárním čističem, kde se dále odstraňuje zrnitost.

2. Uvnitř SRS odpadní voda prochází trapézou, aby se odstranily pevné látky pomocí technologie HighAffinityMicroTrapping, olej, mastnota, amoniak a fosfáty. V tomto procesu se využívá pouze fyzikálních vlastností suspendovaných látek. Nepoužívají žádné chemikálie ani přísady a neprobíhá tu ani biologické ošetření. Jen teplý vzduch nebo teplá voda k čištění Trapperu.
3. Čistší odpadní voda je následně vrácena do ČOV pro další ošetření. Žádné úpravy pravidelného provozu ČOV nejsou nutné.
4. Surový produkt Recyllose z Trapperu se potom zahřívá, čistí a rafinuje, dokud nedosáhne méně než 20% obsahu vody. Sušení probíhá uvnitř SRS a nevyžaduje externí zdroj energie.
5. Sušená směs Recyllose, nyní ve formě buničiny, se dále lisuje. Vznikají pelety, které jsou vhodné pro dlouhodobé skladování, přepravu a použití. [25]

Klimatické podmínky v Nizozemsku jsou obvykle velmi vlhké. Za těchto podmínek mohou pelety z Recyllose plesnivět a zapáchat. Proto byl ACT kalibrován k výrobě suchých pelet (více než 85% DM) a produkoval větší část Recyllose ve tvaru chmýří, které není na plísň tak náchylné. Nicméně Recyllose obsahuje většinou celulózu, což je hygroskopický materiál, a tak může absorbovat vlhkost ze vzduchu a začít se formovat. [25]

Během pokusu byla provedena kontrola tohoto jevu. Pelety Recyllose a chmýří byly důkladně vysušeny na slunci a pak utěsněny ve vzduchotěsných kontejnerech. Materiál zůstal suchý po dobu tří týdnů a začal se znovu formovat až poté, co byl otevřen. Což vede k závěru, že produkty z Recyllose by měly být dále sušeny a skladovány za podmínek s řízením vlhkostí. [25]

4 ČOV BRNO MODŘICE

Čistírna odpadních vod v Modřicích slouží k čištění odpadních vod přiváděných systémem kanalizačních stok z města Brna a ve stále větší míře prostřednictvím soustavy čerpacích stanic i z širokého okolí Brna. V současné době jsou kromě Brna napojeny na ČOV ještě města Kuřim, a Modřice, obce Želešice, Česká u Brna., Šlapanice, Šlapanice-Bedřichovice, Ostropovice, Moravské Knínice, Lipůvku, Podolí, Ponětovice a Rozdrojovice. [34]

Původní ČOV Modřice byla do provozu uvedena v roce 1961, a to jako klasická dvoustupňová čistírna s anaerobní stabilizací kalu. S rozvojem města a následujícím hydraulickým i látkovým přetížením bylo postupně v průběhu 80. let prováděno rozšíření prakticky celé ČOV. V devadesátých letech již nebylo možné přetížení ČOV, a zejména poptávku okolních aglomerací po napojení na brněnský kanalizační systém, řešit dalšími dílčími úpravami, a proto v letech 2001 až 2004 proběhla celková rekonstrukce a rozšíření. V současné době je zajištěna dostatečná kapacita ČOV i pro očekávaný rozvoj Brna a blízkého okolí a čistírna odpadních vod splňuje podmínky české i evropské legislativy. [34]



Obrázek 4.1 Celkový pohled ČOV Brno Modřice

Převážná část města Brna, téměř 2/3 celkové rozlohy, je odkanalizována jednotným systémem. Tento systém se zachoval z období prvního budování kanalizace, kdy veškeré odpadní vody byly odváděny do řek Svratky a Svitavy, resp. do místních vodotečí (Ponávka, Komínský potok, Medlánecký potok, Cacovický náhon, Ivanovický potok, Leskava, Svitavsko – svratecký náhon apod.). Realizací čistírny odpadních vod došlo ke změně, vody již nevytékaly volně do řek či potoků, ale byly odvedeny až do čistírny, kde byly vyčištěny. Aby nedocházelo za dešťů k přetížení a nežádoucímu ovlivňování biologických procesů (přílišné zředění odpadních vod) na ČOV, jsou součástí jednotného systému odlehčovací komory, zajišťující po příslušném nařazení odlehčení odpadních vod do recipientu ještě než přitečou do čistírny. Poměr ředění musí být takový, aby nedošlo odlehčovými vodami k nežádoucímu ovlivnění života v toku. Základ stokové sítě města tvoří šest kmenových stok, označených “A” – “F”.

Tabulka 4.1 Kmenové stoky ve městě Brno [34]

Stoka	Délka [km]	Odkanalizované území
A	7,48	Přízřenice, Dolní a Horní Heršpice, Bohunice, Starý Lískovec, Štýřice
B	15,92	Komárov, Brno-střed, Staré Brno, Nový Lískovec, Kohoutovice, Jundrov, Žabovřesky, Komín, Jiráskovy čtvrti, Bystrc, Kníničky, zástavba u přehrady
C	16,78	Koliště, Ponava, královo pole, Medlánky, Řečkovice, Lesná, Kuřim (ČS)
D	7,46	Královka, Komárov, Zábrdovice, Černá pole, Husovice
E	13,06	Modřice, Ivanovice, Černovice, Slatina, Juliánov, Židenice, Maloměřice, Obřany
F	6,24	Chrlice, Holásky, Tuřany, Ivanovice, Bedřichov, Slatina, Líšeň, Šlapanice, Podolí



4.1.1 Hlavní nátokový objekt

51



Obrázek 13 Vtokový objekt

4.1.2 Dešťová zdrž

Při vyšším přítoku se dešťová voda nejprve kumuluje v dešťové zdrži s kapacitou 10 500 m³ a hydraulickým vyklížením. Nádrž je podélně rozdělena na 11 sekcí s proplachovacím zařízením. Voda, akumulovaná v dešťové zdrži je po skončení dešťové události přečerpávána z čerpací jímky třemi čerpadly Flygt zpět do čistícího procesu . [34]

4.1.3 Čerpací stanice

Objekt čerpací stanice na stoce „A“ je osazen čtyřmi ponornými čerpadly Flygt o celkové kapacitě 1130 l/s. Objekt čerpací stanice na stoce “F“ je osazen třemi šnekovými čerpadly s celkovou kapacitou 1180 l/s. [35]

4.1.4 Lapák šterku

Voda přitékající do ČOV je zbavována hrubého šterku ve čtyřech jímkách lapáku šterku, které slouží k zachycení nejhrubších sunutých látek. Vyklízení jímek se provádí drapákem do přistaveného kontejneru. [34]

4.1.5 Česlovna

Z lapáku voda protéká šesti žlaby vybavenými jemnými, strojně stíranými česlemi typ Fontana s šířkou průlin 6 mm. Shrabky z česlí jsou lisovány, propírány vodou a po odvodnění transportovány do kontejnerů. [35]



Obrázek 4.4 Česlovna

4.1.6 Lapák písku

Po vyčištění jemnými česlemi voda gravitačně přitéká do lapáku písku. Ten sestává ze tří linek, vybavených provzdušňováním včetně separace tuku. Písek s vodou je odtahován do betonových jímek a čerpán do dvou praček písku typu Huber. V objektu pračky jsou dále umístěny dmychadla pro dodávku vzduchu pro provzdušňování lapáku písku. Vedle Objektu je umístěna pračka a třídička pro vytěžený šterk. Tuk je ze sběrných jímek dopravován do kontejneru. Voda, přicházející z lapáku šterku a lapáku písku je kanálem vedena ke šnekové

čerpací stanici odkud je čerpána do rozdělovacího objektu, kde se rozděluje na šest usazovacích nádrží. Stanice je vybavena čtyřmi šnekovými čerpadly, každé o výkonu 1,4 m³/s. [35]



Obrázek 4.5 Lapák písku

4.1.7 Usazovací nádrže

Voda z rozdělovacího objektu je usměrňována do šesti rekonstruovaných usazovacích nádrží o průměru 35 m. Usazovací nádrže jsou vybaveny pojezdy se shrabovacím zařízením kalu a se stíráním plovoucích nečistot. V bezdeštném období jsou do procesu zapojeny maximálně čtyři usazovací nádrže, zbývající dvě se připojují v případě dešťů. [35]

4.2 BIOLOGICKÝ STUPEŇ

4.2.1 Mezičerpací stanice

Zajišťuje přečerpání mechanicky vyčištěné vody do aktivačních nádrží. Je rozdělena na sací jímku s rozrážecí stěnou a rozdělovací jímku s čtyřmi odtokovými sekcemi. Je osazena čtyřmi čerpadly typ Flygt s dopravní výškou 7,8 m s celkovou kapacitou 4,3 m³ /s. [35]

4.2.2 Aktivační nádrže

Aktivace je rozdělena do dvou linek, každá se dvěma samostatnými drahami, které lze provozovat samostatně nebo společně. Voda je přiváděna nejprve do anaerobní nádrže s funkcí defosfatace, následně do oběhové anoxické nádrže s funkcí předřazené denitrifikace. Posledním stupněm aktivace je oxická část s jemnobublinou aerací rozdělená na provzdušňovanou a neprovzdušňovanou zónu. Vzduch je dodáván z rekonstruované dmychárny čtyřmi dmychadly typu HV Turbo. Vratný kal z dosazovacích nádrží je pro dosažení účinné defosfatace zbaven dusičnanů denitrifikací v předřazené anoxické nádrži, umístěné v první části aktivace. Odbourávání fosforu je zajištěno buď biologickým procesem nebo dávkováním síranu železitého pro dosažení předepsaných výsledků. [34]



Obrázek 4.614 Aktivační nádrž

Tabulka 4.2 Parametry aktivace

počet drah	4
Celkový biologický objem [m ³]	110 300
Parametry pro jednu dráhu:	
Objem [m ³]	27 575
Hloubka vody [m]	6
Objem anaerobní zóny [m ³]	4 200
Objem anoxické zóny DNRS[m ³]	2 250
Objem anoxické zóny [m ³]	7 750
Objem provzdušňované zóny [m ³]	13 375

4.2.3 Dosazovací nádrže

Pro každou provozní linku aktivace slouží tři dosazovací nádrže, celkem je vybudováno 6 kruhových nádrží. Nádrže mají průměr 50 m a hloubku 4,5 až 5,6 m. Usazený kal je shrabovacím zařízením na pojezdovém mostu stírán do kalového prostoru a recirkulován přes čerpací stanici vratného kalu do DNRS zóny aktivace pro odstranění zbytkových dusičnanů. Stírací most je vybaven rovněž stíráním plovoucí pěny. Aktivovaný přebytečný kal, odebíraný z aktivace, je zpracováván v kalovém hospodářství. [35]

4.2.4 Objekt odtoku a ČS užitkové vody

Objekt odtoku je vybaven měřením množství a kvality vody, odváděné z dosazovacích nádrží do řeky Svatky. Vedle tohoto objektu je umístěn objekt čerpací stanice pro užitkovou vodu. Užitková voda je čerpána do objektu chlorovny a voda je pak dále dodávána do rozvodu užitkové vody. [35]

Tabulka 4.3 Povolené hodnoty zbytkového znečištění na odtoku z ČOV [34]

Ukazatel	Učinnost [%]		balance [t/rok]
CHSK _{Cr}	85		3322
BSK ₅	95		615
N _{celk.}	75		615
P _{celk.}	85		46
NL	"p"	"m"	923
	20 mg/l	40 mg/l	

4.3 KALOVÉ A PLYNOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

4.3.1 Zahušťovací nádrž, Flotační jednotka

Primární kal z usazovacích nádrží je zahušťován v klasické gravitační zahušťovací nádrži kruhového typu a odtahován do kalové směšovací nádrže. Odsazená kalová voda se vrací do rozdělovacího objektu usazovacích nádrží. Přebytkový biologický kal, přiváděný z biologického stupně je zahušťován v flotační jednotce DAF. Jedná se o kruhovou nádrž o průměru 21 m se sklolinátovým stropem. Zálohou pro zahušťování primárního i sekundárního kalu jsou 3 jednotky mechanických sít GDD. Ke smíšení obou kalů dochází v homogenizační směšovací nádrži s mícháním. Směsný surový kal je dále čerpán do vyhnívacích komor. [34]

4.3.2 Čerpací stanice přepadu flotace

Primární zahuštěný kal a kal z flotační jednotky je smíchán v homogenizační nádrži o objemu 25 m³ a čerpán do vyhnívacích nádrží. Zahuštěný primární kal je před smícháním zbavován vláknitých látek na sítu Strainpress. Jako náhradní zařízení pro mechanické zahušťování kalu jsou v čerpací stanici instalovány tři zahušťovače typu GDD, na nichž může být náhradním způsobem zahuštěn jak primární, tak biologický kal. [35]

4.3.3 Vyhnívací nádrže

Směsný surový kal je dále čerpán do vyhnívacích komor. K odstraňování zejména vláknitých látek je v lince primárního kalu předřazena filtrace. Čtyři stávající vyhnívací nádrže, o celkovém objemu 14 690 m³, jsou intenzívně promíchávány a udržovány na konstantní teplotě 35°C, aby byl zajištěn růst mezofilních bakterií. Doba zdržení kalu ve vyhnívacích nádržích je cca 22 dnů. Nádrže jsou zastřešené plynotěsným laminátovým stropem, u kterého jsou v masivní železobetonové lávce umístěna míchadla. Zbývající dvě bývalé vyhnívací nádrže jsou rekonstruovány na uskladňovací nádrže stabilizovaného kalu s užitným skladovacím objemem na více jak čtyři dny. [34]

4.3.4 Strojní odvodnění a sušení kalu

Budova odvodnění a sušení kalu je umístěna mezi vyhnívacími nádržemi a rozdělovacím objektem na UN. Hlavní část objektu tvoří hala pro zařízení na odvodnění a sušení kalu. Jsou zde umístěny dvě odstředivky typu Guinard s jednotkovou kapacitou 36 m³ /hod. Odvodněný kal o sušině 25% je dopravován na sušičku kalu typu NARA NPD 14W s nepřímým ohřevem sestává z vodorovného opláštěného žlabu, skrze který jsou vedeny dvě duté rotační hřídele s dutými lopatkami. Teplonosným mediem je horký olej. Termální olej je ohříván v kotelně, umístěné v samostatné místnosti. Páry a stržený prach jsou vedeny do pračky plynů, kde jsou odtahované plyny odprašovány a zajištěna kondenzace par. Kal o výsledné sušině 85 až 92 % je přepravován systémem dopravníků za současného ochlazování do kontejnerů. [35]



Obrázek 4.715 Odstředivky typu Guinard



Obrázek 4.8 Sušárna kalu



Obrázek 4.9 Zchlazení vysušeného kalu

4.3.5 Sklad sušeného kalu

Kontejnery před transportem mimo areál ČOV jsou umísťovány do skladu sušeného kalu. Jedná se o otevřený přístřešek pro skladování 10 kontejnerů o objemu cca 20 m³ . [35]



Obrázek 4.10 Kontejnery na vysušený kal

4.3.6 Plynojemy

Plynojemy slouží k akumulaci bioplynu a k udržování tlaku. Instalovány jsou dva dvoumembránové plynojemy, každý o objemu 1 530 m³, do nichž je přiváděn bioplyn z vyhnívacích nádrží. Zde je využíván pro výrobu elektrické energie a tepla v kogeneračních jednotkách o výkonu 2 x 500 kW. Pro tuto výrobu je zbavován sirovodíku v odsiřovací stanici, ta sestává ze dvou uzavřených kontejnerů, v nichž je bioplyn zbaven nežádoucí příměsí síry před přivedením na plynové motory. Bioplyn z plynojemů je veden ke dvěma plynovým motorům. Tyto plynové motory o výkonu 1 000 kW jsou instalovány v nově rekonstruované budově elektrárny a slouží ke kogenerační produkci elektrické a tepelné energie, využívaných v ČOV. Přebytečný bioplyn je spalován dvěma hořáky zbytkového plynu. [35]

4.4 ZÍSKÁVÁNÍ CELULÓZY V ČOV MODŘICE

Průměrný denní bezdeštný průtok na čistírnu je přibližně 1600 l/s. S tímto množstvím odpadní vody přitéká přibližně 15 až 16 tun toaletního papíru. Pro separaci těchto celulóзовých vláken navrhuji umístění sít do mechanického stupně, které budou separovat celulóзовý kal. Ten se poté odvodní a společně s přebytečným kalem vysuší.

4.4.1 Síto Romesh

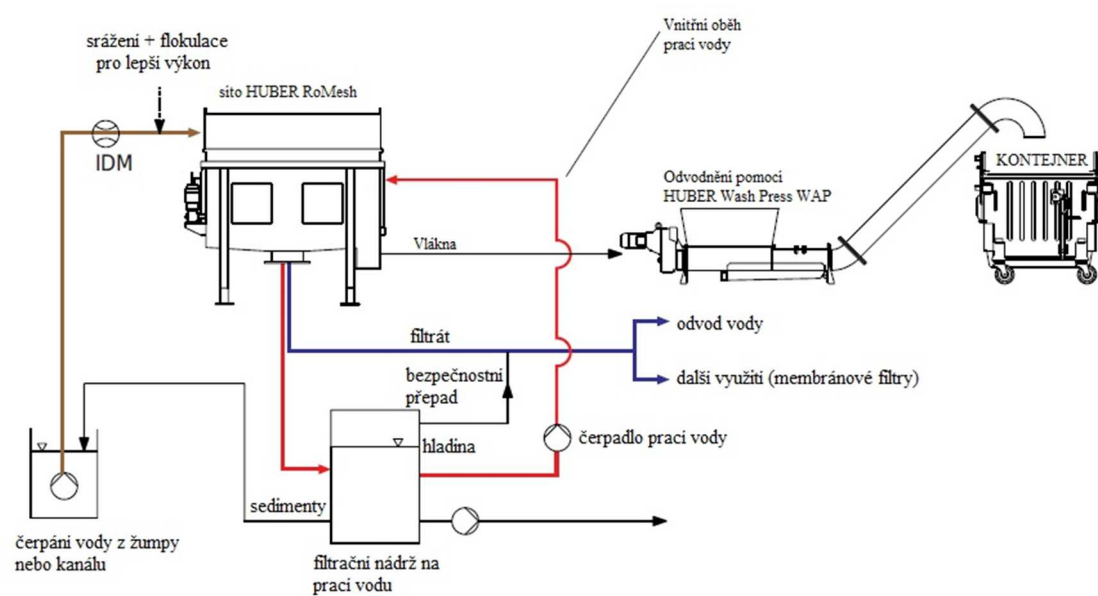
Síta RoMesh od firmy Huber se skládá z horizontálního síta s jemným čtvercovým okem o velikosti 0,2 až 1 mm nebo z perforované desky (2 až 3 mm). Vzhledem k dvojí dimenzi je síto schopno odstranit velmi jemné částice z odpadní vody. Stroj je kompletně vyroben z nerezové oceli a je ochráněn proti korozi kyselinovou lázní. Požadavky na provoz a obsluhu jsou minimální. [36]

Odpadní voda proudí zevnitř na povrch síta, které je vertikálně připevněné k bubnu a jeho otáčením se oddělují vlákna od vody. Po oddělení se odseparované vlákna odvodní a rozprašovací trysky vyčistí povrch síta vodou. Pokud se tato voda zregeneruje filtrací, může se opětovně použít jako prací voda. [36]

Nejčastěji se tyto síta navrhují v papírenském průmyslu pro oddělení jemných vláken, což je pro čistírnu odpadních vod v Modřicích ideální. Síto vyžaduje mechanické předčištění a proto je navržena za lapák písku.



Obrázek 16 Síta RoMesh

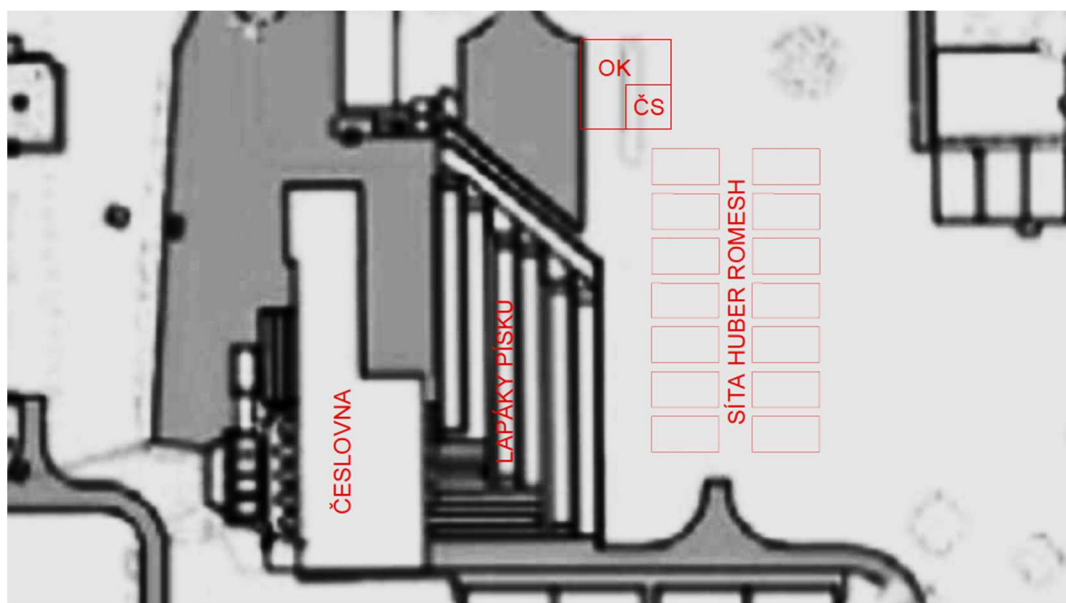


Obrázek 4.12 Schéma postupu síta RoMesh [36]

4.4.2 Návrh umístění

Sít bude celkem 14, z nichž každé má velikost ok 0,2 mm, velikost bubnu 1600x3000 mm a pojme průtok 127 l/s. Jejich umístění navrhuji na prostor u lapáku písku v rámci mechanického stupně předčištění. Na gravitačním odtoku z lapáku písku bude odlehčovací komora, která za deštných průtoků oddělí maximální průtok na síta a zbylou odpadní vodu povede dál na linku čistírny.

Za odlehčovací komorou bude potřeba čerpací stanice, která bude čerpat vodu do sít. Po filtraci bude voda gravitačně odvedena za odlehčovací komoru, odkud bude pokračovat na biologický stupeň. Odvodněný kal bude separován do kontejnerů a přemísťován do kalového hospodářství na zahuštění a sušení. Pro tento účel bude třeba zpevnit plochu, na které budou síta stát a zajistit napojení na obslužnou komunikaci.



Obrázek 4.13 Situace umístění sít a odlehčovací komory

5 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá přiblížením principu oběhové ekonomiky a to hlavně v oblasti čištění odpadních vod. Teoretická část práce přibližuje problematiku čištění vod, jejich druhů, původu a složení. Dále popisuje celulózu, jak se vyrábí a kde se používá. Velká část je věnována čistírnám odpadních vod, složení čistící linky a principu, na kterém pracuje. Pozornost je věnována i ostatním látkám v odpadních vodách, jako je na příklad dusík, fosfor, léčiva, těžké kovy, rtuť, olovo a fosfáty, a způsobu, jak a proč se z odpadních vod recyklují.

V závěru teoretické části práce popisuje technologie, které se používají na získávání celulóзовých vláken z odpadních vod v Nizozemsku. Podrobně je popsána technologie CAdoS, která je umístěna na čistírně odpadních vod ve městě Ulrum, v Nizozemsku. Je tu popsána jak technologie, tak i možnost dalšího zpracování celulóзовého kalu a jeho využití. Na podobném principu funguje i technologie CellCap na čistírně ve městě Geestmerambacht a Beemster, také v Nizozemsku. Dalším podobným způsobem vlákna využívají i na čistírně Aarle-Rixtel, kde je nainstalován systém pro recyklaci odpadních vod SRS, zde se po zavedení podařilo snížit náklady až o 30%.

Přínos bakalářské práce je hlavně v přiblížení principu technologie. Právě tento princip je v praktické části aplikován na čistírnu odpadních vod v Brně v Modřicích. Zde se navrhuje pořízení soustavy sít, za pomoci kterých se z bezdeštného průtoku odseparují celulóзова vlákna hned na mechanickém stupni, za lapákem písku. Kal bude nadále odvodněn a zpracováván s vysušeným přebytečným kalem z čistící linky.

Největší výhodou bude úspora energie při provzdušňování aktivační nádrže a zmenšení objemu kalu, který se musí odvážet. Tím se sníží počet jízd přepravního automobilu, což sníží emise a chrání tak životní prostředí. Další velkou výhodou je větší podíl organické hmoty v kalu, což vede ke zvýšení produkce bioplynu, který se tu v kogeneračních jednotkách přetváří na energii. Do budoucna je možnost využití celulóзовého kalu na výrobu tzv. biomateriálu, kterými jsou mimo jiné bioplasty.

1 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *OBĚHOVÁ EKONOMIKA* [online]. In: . [cit. 2017-01-31]. Dostupné z: <http://www.hticcluster.eu/cs/obehova-ekonomika>
- [2] , Ing. Michal Vrána. *Odpadní vody* [online]. In: . [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: http://www.vakvs.cz/userfiles/admin/files/pro_skoly/odpadni_vody.pdf
- [3] *Odpadní voda průmyslová* [online]. In: . [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.wabag.cz/technologie/odpadni-voda-prumyslova>
- [4] *Odpadní vody* [online]. In: . [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~smejkalp/OCV/Odpadni%20vody/Odpadni%20vody-S6.pdf>
- [5] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Příručka stokování a čištění*. Brno: NOEL 2000, c2001. ISBN 80-86020-30-4.
- [6] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Stokování a čištění odpadních vod*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2535-0.
- [7] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. 2., dopl. vyd. Brno: ARDEC, c2006. ISBN 80-86020-50-9.
- [8] PYTL, Vladimír. *Příručka pro provozovatele čistírny odpadních vod*. Líbeznice u Prahy: Medim, 2004. ISBN 80-239-2528-8.
- [9] HLAVÍNEK, Petr a Jaromír ŘÍHA. *Jakost vody v povodí*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 8021428155.
- [10] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Stokování a čištění odpadních vod*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 8021425350.
- [11] článek email
- [12] *HOW CAN HARMFUL SUBSTANCES BE REMOVED FROM WASTE WATER?* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://engineering.mit.edu/ask/how-can-harmful-substances-be-removed-waste-water>
- [13] *Analysis of pharmaceuticals in wastewater and removal using a membrane bioreactor* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1805043/>
- [14] *Aktivační nádrž* [online]. In: . [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: http://ceskobudejovicky.denik.cz/galerie/cistirna_budejovice.html?mm=3269810
- [15] *Filtr biologický* [online]. In: . [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <https://leporelo.info/filtr-biologicky>

- [16] *HEAVY METALS IN WASTEWATER REMOVAL AND ANALYSES* [online]. In: . [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: http://www.ecoprofi.info/docs/event_2013-03-22_presentation_Ramboll_Varpula_en.pdf
- [17] *Cellulose* [online]. In: . [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.scienceclarified.com/Ca-Ch/Cellulose.html>
- [18] *Cellulose recovery from municipal waste water* [online]. In: . [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.aquatechtrade.com/aquatech-news/cellulose-recovery-from-municipal-waste-water/>
- [19] *CADOS Cellulose Assisted Dewatering of Sludge* [online]. In: . [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.cados.nl/wp-content/uploads/2016/06/160531-CADOS-brochure.pdf>
- [20] *UITNODIGING* [online]. In: . [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.cados.nl/wp-content/uploads/2014/09/uitnodigingCADoS-definitief-1-e1409732239289.jpg>
- [21] *#Cellcap finescreens at WWTP Beemster almost ready for start-up. Harvesting cellulose will start shortly. @CELLU2PLA* [online]. In: . [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://twitter.com/BWAWater/status/750289912310665216>
- [22] *Cellulose recovery at wwtp Geestmerambacht* [online]. In: . [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://bwa-water.nl/en/cellulose-terugwinning-op-rwzi-geestmerambacht/>
- [23] *Tweede leven voor toiletpapier* [online]. In: . [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://www.cellu2pla.nl/files/5614/4111/2810/Artikel_EOS_magazine_over_fijnzeven_rwzi_Beemster.pdf
- [24] *Toiletpapier krijgt tweede leven* [online]. In: . [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.overwater.nu/innovatie/toiletpapier-krijgt-tweede-leven>
- [25] *Installation of SRS (Sewage Recycling System) at Aarle-Rixtel WWTP* [online]. In: . [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://edepot.wur.nl/326365>
- [26] *Výroba celulózy* [online]. In: . [cit. 2017-01-31]. Dostupné z: http://geo3.fsv.cvut.cz/vyuka/kapr/SP/2008_2009/busta_fiedlerova/vyroba.html
- [27] *ODPADNÍ VODY* [online]. In: . [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~smejkalp/OCV/Odpadni%20vody/Odpadni%20vody-S6.pdf>
- [28] *ÚPRAVA A ČIŠTĚNÍ VODY* [online]. In: . [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/nap.html
- [29] *Mercury Removal Techniques for Industrial Waste Water* [online]. In: . [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://waset.org/publications/14912/mercury-removal-techniques-for-industrial-waste-water>
- [30] *New Technologies in Lead Removal from Wastewater* [online]. In: . [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.oilgae.com/algae/cult/sew/new/lead/lead.html>

- [31] *Phosphates in Wastewater* [online]. In: . [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.pfonline.com/articles/phosphates-in-wastewater>
- [32] *Phosphorous removal from wastewater* [online]. In: . [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.lenntech.com/phosphorous-removal.htm>
- [33] *AEROBNÍ TERMOFILNÍ STABILIZACE (ATS)* [online]. In: . [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/aerobni-termofilni-stabilizace-ats>
- [34] *BRNĚNSKÉ VODÁRNY A KANALIZACE: ČOV Brno - Modřice* [online]. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.bvk.cz/o-spolecnosti/odvadeni-a-cistení-odpadnich-vod/cov-brno-modrice/>
- [35] *ČOV Modřice - Technický popis* [online]. In: . [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <file:///C:/Users/Kamila/Downloads/COV%20Modrice%20-%20technicky%20popis.pdf>
- [36] *RoMesh síto* [online]. In: . [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.huberco.cz/cz/produkty/cesle-a-sita/ultra-jemna-sita/huber-rotacni-sito-romeshr.html>

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Orientační složení splaškových odpadních vod	10
Tab. 2.2 Ukazatele platné pro splaškové a městské odpadní vody	11
Tab. 2.3 Zdroje znečištění dešťových vod.....	13
Tab. 2.4 Orientační složení splaškových odpadních vod	16
Tab. 3.1 Proces mikrobiálního rozkladu organické hmoty v aerobních podmínkách.....	23
Tab. 3.2 Limity koncentrace pro těžké kovy	34
Tab. 4.1 Kmenové stoky ve městě Brno.....	50
Tab. 4.2 Parametry aktivace.....	56
Tab. 4.3 Povolené hodnoty zbytkového znečištění na odtoku z ČOV	56

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Aktivační nádrž.....	24
Obr. 3.2 Biologický filtr	Chyba! Záložka není definována. 6
Obr. 3.3 Anaerobní reaktor	28
Obr. 3.4 MBR nádrž	33
Obr. 3.5 ČOV Ulrum, Nizozemsko	40
Obr. 3.6 Odvodněná směs kalu a buničiny	41
Obr. 3.7 Pilotní jednotka CADoS, ČOV Ulrum, Nizozemsko	42
Obr. 3.8 Schéma porovnání kalového hospodářství.....	43
Obr. 3.9 Celulózní projekce CellCap	45
Obr. 3.10 Proces oddělení celulózových vláken	46
Obr. 3.11 Asfaltová vrstva s vlákny celulózy	46
Obr. 4.1 Celkový pohled ČOV Brno, Modřice	49
Obr. 4.2 Blokové schéma ČOV.....	51
Obr. 4.3 Vtokový objekt	52
Obr. 4.4 Česlovna	53
Obr. 4.5 Lapák písku	54
Obr. 4.6 Aktivační nádrž.....	55
Obr. 4.7 Odstředivky typu Guinard	58
Obr. 4.8 Sušárna kalu	58
Obr. 4.9 Zchlazení kalu	59
Obr. 4.10 Kontejnery na vysušený kal	59
Obr. 4.11 Síto RoMesh	61
Obr. 4.12 Schéma postupu síta RoMesh.....	61
Obr. 4.13 Situace umístění sít a odlehčovací kmory	62

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

BSK₅ – biochemická spotřeba kyslíku

ČOV – čistírna odpadních vod

CO₂ – oxid uhličitý

N-NH₄⁺ - amoniakální dusík

Ca – vápník

Mg – hořčík

Na – sodík

NH₄⁺ amonný ion

NaOH – hydroxid sodný

Na₂S – sulfid sodný

Na₂CO₃ – uhličitan sodný

²²⁶Ra – radium

²²²Rn – radon

²³⁸U – uran

²³⁰Th – thorium

N – dusík

P – fosfor

H₂O - voda

NH₃ – amoniak

MgO – oxid hořečnatý

NO – oxid dusnatý

N₂O – oxid dusný

pH – vodíkový exponent

H₃PO₄ – kyselina fosforečná

Ca(OH)₂ – hydroxid vápenatý

H₂SO₄ – kyselina sírová

Cu – měď

Pb – olovo

EO – ekvivalentní obyvatel

FeCl_3 – chlorid železitý

SUMMARY

This bachelor's thesis focuses to explain the circular economy, mainly in area of sewage treatment.

Theoretical part of thesis shows sewage problematic, its' types, origin and composition. Then thesis describes how cellulose is made, where and how it is used. Major part dedicates to sewage treatment plant. Attention is put on other materials in wastewater too and methods how and why they are recycled.

At the end, thesis describes technologies which are used for obtaining celluloses from sewage in Netherlands, in the cities Ubrum (technology CADoS), Geestmerambach (CellCap) and Aarle-Rixtel (technology SRS).

Contribution of thesis is clarification of technologies principle which is applied in practical part of this thesis to sewage treatment plant in Brno modrice.

I propose system to separate cellulose right after sand catcher, still within mechanical level of sewage treatment. Then sediment will be dewatered and processed with dried sediment from sewage treatment plant

The greatest advantage is energy save on aerate in aeration tank and lower weight of sediment which must be transported. That means few truck is needed, which cause lower emission which help to environmental protection. Other advantage is more organic materials in sediment, that means to increase production of biogas which is transformed into energy (which energy)

In the future there could be possibility to use cellulose sediment for production bio-materials for example bioplastic.